



**Tugas Akhir - TL141584**

**STUDI VARIASI JENIS ARANG PADA BRIKET PASIR  
BESI TERHADAP KANDUNGAN FE TOTAL DAN  
DERAJAT METALISASI PADA PROSES PEMBUATAN  
SPONGE IRON**

Hairul Wasik  
NRP 2713100068

Pembimbing :  
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**Final Project - TL141584**

**STUDY OF CHARCOAL VARIATION IN SAND IRON  
BRIQUETTING ON TOTAL FE CONTENT AND DEGREE OF  
METALIZATION TO SPONGE IRON PRODUCTION  
PROCESS**

Hairul Wasik  
NRP 2713100068

Advisor :  
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**STUDI VARIASI JENIS ARANG PADA BRIKET PASIR  
BESI TERHADAP KANDUNGAN FE TOTAL DAN  
DERAJAT METALISASI PADA PROSES PEMBUATAN  
SPONGE IRON**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**HAIRUL WASIK**  
NRP. 2713 100 068

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Sungging Pintowantoro, Ph.D ..... (Pembimbing I)

Fakhreza Abdul, S.T., M.T. .... (Pembimbing II)



# STUDI VARIASI JENIS ARANG PADA BRIKET PASIR BESI TERHADAP KANDUNGAN FE TOTAL DAN DERAJAT METALISASI PADA PROSES PEMBUATAN SPONGE IRON

Nama Mahasiswa : Hairul Wasik  
NRP : 2713 100 068  
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing : Dr. Sungging Pintowantoro, ST., MT.  
Fakhreza Abdul, ST., MT.

## Abstrak

Kebutuhan baja nasional terus meningkat seiring berjalannya waktu. Tetapi berdasarkan data yang dipaparkan IISIA (*Indonesian Iron and Steel Industry Association*) Indonesia belum bisa memenuhi kebutuhannya sampai tahun 2020. Di tahun 2013 pun 66% pasokan baja nasional diimpor dari luar negeri. Hal ini kontras sekali melihat ketersediaan cadangan besi Indonesia yang sangat melimpah sekitar 140 juta ton.

Tidak hanya untuk sekedar memenuhi kebutuhan baja nasional, diperlukan juga teknologi yang berbasis *eco-energy* (energi terbarukan).. Dimana dalam penelitian ini, digunakanlah *charcoal* sebagai reduktor pembuatan Direct Reduction Iron.

Pada penelitian ini akan membahas pengaruh penambahan variasi jenis arang pada briket pasir besi terhadap kandungan Fe total dan derajat metalisasi pada proses pembuatan *sponge iron*. Briket ini akan direduksi dengan cara dipanaskan menggunakan *muffle furnace* sampai pada *Temperature* 1350<sup>0</sup>C selama 3 jam lalu dilakukan *holding* pada *temperature* 1350<sup>0</sup>C selama 10 jam, lalu dilakukan *cooling* 12 jam di dalam *muffle furnace*. Lalu hasil proses ini dikenai pengujian karakterisasi menggunakan pengujian EDX, XRD dan derajat metalisasi.

Dari hasil penelitian terlihat bahwa briket dengan reduksi maksimal ialah briket C dengan reduktor arang kayu alaban dengan pengotor yang paling sedikit, kadar Fe total 64, 145% derajat metalisasi 88,54%. Hal ini dikarenakan arang kayu laban

memiliki kandungan Volatile matter yang tinggi sehingga kemampuan memproduksi gas CO lebih banyak untuk mereduksi besi oksida.

**Kata Kunci:** *Pasir Besi, Sponge Iron, Charcoal, Direct Reduction Iron, Derajat Metalisasi.*

# **STUDY OF CHARCOAL VARIATION IN SAND IRON BRIQUETTING ON TOTAL FE CONTENT AND DEGREE OF METALIZATION TO SPONGE IRON PRODUCTION PROCESS**

Nama Mahasiswa : Hairul Wasik  
NRP : 2713 100 068  
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing : Dr. Sungging Pintowantoro, ST., MT.  
Fakhreza Abdul, ST., MT.

## **Abstract**

National demand for steel continues to increase over time. But based on the data presented IISIA (Indonesian Iron and Steel Industry Association) Indonesia has not been able to meet his needs until the year 2020. In the year 2013 was 66% of national steel supply is imported from abroad. This is in contrast to see the availability of iron reserves are highly abundant Indonesia around 140 million tonnes.

Not just to meet the national demand for steel, also required a technology based on eco-energy (renewable energy) .. Where in this study, is used charcoal as a reductant manufacture of Direct Reduction Iron.

This research will discuss the effect of variations in the type of charcoal briquette iron sands on the total Fe content and the degree of metallization in the production of sponge iron. These briquettes will be reduced by heating using a muffle furnace until the Temperature 1350<sup>0</sup>C for 3 hours and then was done holding at temperature 1350<sup>0</sup>C for 10 hours, then cooling is done 12 hours in muffle furnace. Then the results of this process is subjected to the test characterization using EDX testing, XRD and degree of metallization.

From the findings, it seemed that the briquettes with a maximum reduction of C with a reducing agent is briquette charcoal alaban with the fewest impurities, total Fe content of

64,145% degree of metallization 88.54%. This is because the charcoal Laban had Volatile matter content is high, so the ability to produce more CO gas to reduce iron oxide.

**Kata Kunci:** *Sand Iron, Sponge Iron, Charcoal, Direct Reduction Iron, degree of metallization*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“STUDI VARIASI JENIS ARANG PADA BRIKET PASIR BESI TERHADAP KANDUNGAN FE TOTAL DAN DERAJAT METALISASI PADA PROSES PEMBUATAN SPONGE IRON**

”. Penulis ingin berterima kasih juga kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat, dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Kedua Orang Tua, yang telah mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan ,keselamatan dan kelancaran anaknya dalam menempuh studi.
3. Saudara penulis Asri Suwarni yang selalu ada di hati
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
6. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T selaku penasehat, inspirator yang sangat super. Terimakasih banyak atas ilmu dan masukannya.
7. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc Selaku dosen wali yang sangat mengayomi

8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
9. Annisa Tiara Putri yang telah memberikan doa, perhatian, dukungan, dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Sahabat-sahabat kontrakan sableng kepada majdi “gemblung”, Malih tong tong, Epi kusnandar, Doddy, Domo, Ici, Ihsan Salman, dan raden Farid.
11. Teman-teman Lab. Pengolahan Material yang telah membantu tugas akhir saya selama 1 semester khususnya kepada Kemplo, Dio, Hamzah, Rizki, Narindra, Domo, Chibi, Rahmania dan juga mas-mas MT14 yang udah banyak memberi saran serta ilmu untuk tugas akhir saya khususnya Mas Iqbal, Mas Arif, Mas Bram, Mas Alfian, Mas Dayat, Mas Afri, dan Mas Mardyanto.
12. Keluarga MT 15 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
13. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap laporan kerja praktik ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan baik.

Surabaya, Januari 2017

Penulis,  
Hairul Wasik

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>

## BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang .....	1
1.2	Rumusan Masalah .....	4
1.3	Batasan Masalah .....	4
1.4	Tujuan Penelitian .....	4
1.5	Manfaat Penelitian .....	5
1.6	Sistematika Penelitian .....	5

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Pasir Besi .....	7
2.2	Batu Bara .....	9
2.3	Arang .....	11
2.4	Limestone .....	14
2.5	Proses Reduksi dalam Besi Pembuatan Sponge Iron (Hoganas Process / Tunnel Kiln) .....	17
2.6	Termodinamika Pasir Besi .....	19
2.7	Kinetika Reduksi Besi .....	25
2.8	Sponge Iron .....	29

## BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian .....	35
3.2	Bahan Penelitian .....	36
3.3	Peralatan Penelitian .....	39
3.4	Pelaksanaan Penelitian .....	44



3.5	Rancangan Penelitian .....	55
3.6	Jadwal Penelitian .....	56

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Karakterisasi Bahan Penelitian .....	57
4.1.1	Pasir Besi .....	57
4.1.2	Batu Bara .....	58
4.1.3	Arang .....	59
4.1.4	Baru Kapur (Dolomit) .....	60
4.2	Pengaruh Penambahan Jenis Arang terhadap Kadar Fe dalam Hasil Reduksi .....	62
4.3	Pengaruh geometri briket terhadap fasa dalam hasil reduksi .....	67
4.4	Pengaruh geometri briket terhadap derajat metalisasi hasil reduksi .....	71
4.5	Analisa morfologi Briket hasil reduksi.....	74

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	79
5.2	Saran .....	79

#### **DAFTAR PUSTAKA ..... xix**

#### **LAMPIRAN**

#### **BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Pasir Besi .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Arang .....	13
<b>Gambar 2.3</b>	Batu Kapur .....	15
<b>Gambar 2.4</b>	Tunnel Kiln dalam Proses Hoganas .....	17
<b>Gambar 2.5</b>	Susunan sagger pada kereta Hoganas kiln .....	17
<b>Gambar 2.6</b>	Susunan bahan baku pada penampang horizontal sagger .....	18
<b>Gambar 2.7</b>	Diagram Ellingham .....	21
<b>Gambar 2.8</b>	Diagram Ellingham untuk Oksida Metal .....	22
<b>Gambar 2.9</b>	Kesetimbangan komposisi gas terhadap fungsi temperatur pada sistem Besi-Karbon-Oksigen ...	24
<b>Gambar 2.10</b>	Pengaruh tekanan terhadap kesetimbangan reaksi boudouard .....	25
<b>Gambar 2.11</b>	Garis besar mekanisme reduksi untuk bijih besi berpori .....	27
<b>Gambar 2.12</b>	Mekanisme reduksi bijih besi .....	29
<b>Gambar 2.13</b>	Produk <i>Sponge Iron</i> pada umumnya .....	30
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	35
<b>Gambar 3.2</b>	Pasir Besi .....	36
<b>Gambar 3.3</b>	Arang .....	37
<b>Gambar 3.4</b>	Dolomit .....	38
<b>Gambar 3.5</b>	Kanji .....	39
<b>Gambar 3.6</b>	Tabung LPG .....	39
<b>Gambar 3.7</b>	Crucible .....	40
<b>Gambar 3.8</b>	Alat Kompaksi .....	40
<b>Gambar 3.9</b>	<i>Muffle Furnace</i> .....	41
<b>Gambar 3.10</b>	Timbangan Digital .....	42
<b>Gambar 3.11</b>	Ayakan .....	42
<b>Gambar 3.12</b>	Thermocouple dan Thermometer Infrared .....	43
<b>Gambar 3.13</b>	<i>Bond Ball Mill</i> .....	43
<b>Gambar 3.14</b>	Blower .....	44
<b>Gambar 3.15</b>	Briket Hasil Kompaksi .....	46
<b>Gambar 3.16</b>	Olympus Delta Premium Handled XRF .....	47

<b>Gambar 3.17</b>	XRD PAN Analytical .....	48
<b>Gambar 3.18</b>	SEM Analytical .....	49
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Analisa XRD .....	58
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Pengujian XRD Batu Kapur .....	61
<b>Gambar 4.3</b>	Pengaruh variasi jenis arang terhadap kadar Fe..	63
<b>Gambar 4.4</b>	Pengaruh jenis arang terhadap peningkatan kadar Fe .....	64
<b>Gambar 4.5</b>	Perbandingan Fixed carbon terhadap peningkatan Fe .....	65
<b>Gambar 4.6</b>	Perbandingan kandungan Volatile Matter pada masing masing reduktor .....	66
<b>Gambar 4.7</b>	kurva pengaruh komposisi Volatile Matter terhadap Peningkatan Fe .....	67
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil Pengujian XRD Briket .....	68
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Derajat Metalisasi tiap briket .....	72
<b>Gambar 4.10</b>	Morfologi Permukaan Briket Arang tempurung Kelapa dengan Perbesaran 100x .....	74
<b>Gambar 4.11</b>	Morfologi permukaan area metalik pada reduksi arang tempurung kelapa.....	75
<b>Gambar 4.12</b>	Morfologi area amorfus pada reduksi arang tempurung Kelapa .....	76

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Batu Bara dan Nilai Kalori (Pelletier. 1984)	12
Tabel 2.2 Perbandingan Kandungan Fixed Carbon Batu Bara Dan Arang Tempurung Kelapa (Nukman, 2011)	13
Tabel 2.3 Konsumsi bahan dan energi dalam proses Hoganas (Chatterjee, 2010)	18
Tabel 2.4 Hasil Penelitian Sebelumnya Mengenai Sponge Iron	29
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	55
Tabel 3.2 Jadwal Penelitian	56
Tabel 4. 1 Hasil pengujian EDX konsentrat pasir besi	57
Tabel 4. 2 Hasil pengujian Proxymate Analysis batubara	59
Tabel 4. 3 Hasil pengujian Proxymate Analysis Arang Tempurung Kelapa	60
Tabel 4. 4 Hasil pengujian Proxymate Analysis Arang Kayu laban	60
Tabel 4. 5 Hasil pengujian Proxymate Analysis Arang Kayu laban	60
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian XRF Batu Kapur	60
Tabel 4. 7 Variabel dalam penelitian	62
Tabel 4. 8 Hasil penngujian EDX briket hasil reduksi	62
Tabel 4.9 Perbandingan Derajat Metalisasi	71
Tabel 4.10 Mapping EDX arang	76

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tingkat konsumsi baja per kapita merupakan indikator yang menunjukkan tingkat kemajuan ekonomi suatu negara. Semakin tinggi tingkat konsumsi baja perkapita suatu negara maka dapat dikatakan bahwa negara tersebut merupakan negara yang maju.

Saat ini konsumsi perkapita Indonesia dalam pemakaian produk logam baru mencapai 38,7 Kg/ kapita, jauh tertinggal dari Negara-negara Asean. Sebagai pembanding konsumsi beberapa Negara Asean adalah sebagai berikut : Malaysia 297,7 kg, Thailand 203 kg, Vietnam 94,8 kg dan China 250 kg. Dalam rangka mencapai target menjadi “Negara Maju Baru”, Indonesia harus dapat mencapai tingkat konsumsi per kapita sebesar 100 kg/kapita (Kementrian ESDM, 2013). Data tersebut menguatkan bahwa konsumsi baja Indonesia terbilang sangat rendah, yaitu sekitar 52 GDP per kapita. Angka ini menempatkan Indonesia di urutan ke-10 se Asia di sektor negara konsumsi baja per kapita. Berbeda sangat jauh (22 kali lipat) dengan korea di urutan pertama dengan konsumsi baja 1164 GDP per kapita. Hal ini diperburuk lagi dengan fakta bahwa dari konsumsi baja sebesar 52 GDP per kapita tersebut, sekitar 66% impor dari luar negeri. Hanya 44% produsen dalam negeri dapat memenuhi kebutuhan baja nasional di tahun 2013 tersebut. Hal ini kontras sekali melihat ketersediaan cadangan besi Indonesia yang sangat melimpah sekitar 140 juta ton.



Dengan kondisi di atas *Indonesian Iron and Steel Industry Association (IISIA)* pada tahun 2015 memperperkirakan pada tahun 2020 kebutuhan baja Indonesia akan meningkat menjadi sekitar 27 Juta Ton. Untuk mengatasi hal tersebut beberapa langkah telah dicanangkan oleh pemerintah antara lain pembangunan pabrik baja terintegrasi oleh PT Krakatau POSCO (tahap I dan tahap II), serta ekspansi dari PT Krakatau Steel serta pembangunan pabrik baja oleh Gunung Group, sehingga kapasitas terpasang pabrik baja di Indonesia dapat mencapai 20 juta ton. Oleh karenanya dibutuhkan pembangunan pabrik-pabrik baja baru dengan kapasitas produksi 6-8 juta ton guna mendukung kekurangan kebutuhan baja Indonesia (Zulhan,2013).

Dari fakta diatas, dengan didukung dengan masih melimpahnya cadangan besi di Indonesia maka dibutuhkan suatu strategi dimana dapat mensinergikan produksi besi baja dari hulu ke hilir. Yaitu pada pengolahan iron ore concentrate, iron sand concentrate, hot bricket iron, pig iron, Direct Reduction Iron, dsb.

Di indonesia sendiri terdapat cadangan pasir besi yang sangat melimpah yaitu sebesar 107,18 juta ton, namun sampai saat ini belum ada pengolahan besi baja dengan bahan baku pasir besi. Pasir besi di Indonesia tersebar di pulau-pulau seperti pulau Sumatera, pulau Jawa, pulau Kalimantan, pulau Sulawesi, bahkan hingga Papua. Pasir besi Indonesia kebanyakan berupa Ilmenite yang memiliki kandungan Titanium yang cukup tinggi. Dengan adanya unsur ini dibuthkan suatu proses untuk meningkatkan kadar besi dalam konsentrat pasir besi. Salah satu teknologi yang digunakan adalah Direct Reduction Iron (DRI). Teknologi Direct Reduced

---



Iron (DRI) merupakan proses memperoleh besi dengan mereduksi bijih besi dibawah titik leleh besi yang menghasilkan produk yang bernama *Sponge Iron*.

Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan mineral terutama pasir besi yang ada di Indonesia untuk menekan kebutuhan impor itu sendiri, salah satu solusi dari pemenuhan kebutuhan tersebut antara lain adalah proses pembuatan *sponge iron* terhadap pasir besi.

Banyak sekali metoda yang digunakan dalam proses pembuatan *sponge iron*. Diantaranya ialah Rotary Kiln Process, Tunnel Kiln Process, Hyl Process dll. Pada penelitian ini digunakan metoda tunnel kiln Process dimana dibutuhkan batu bara dan batu kapur sebagai agen reduktor. Namun pada faktanya, batu bara merupakan material non renewable resources dimana saat ini cadangan batu bara semakin lama semakin menipis.

Berdasarkan data Badan Geologi tahun 2008, sumber batubara (*resources*) sebanyak 104,76 miliar ton dan dari jumlah itu hanya 20,99 miliar ton yang merupakan cadangan. Sementara, cadangan pasti (*mineable reserves*) hanya sebanyak 13,52 milyar ton. Cadangan terbesar pun hanya tersebar di Sumatera Selatan (37 persen), Kalimantan Timur (35 persen), dan Kalimantan Selatan (26 persen).

Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah penelitian yang dapat menjadi solusi dari masalah di atas tentang pengolahan pasir besi menggunakan muffle furnace sehingga dapat menunjang proses pengolahan pasir besi yang ekonomis dan ramah lingkungan (eco-friendly). Dengan harapan hasil penelitian ini dapat diproyeksikan dalam pengembangan

---





proses reduksi pasir besi dalam skala besar, seperti proses tunnel kiln.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis arang sebagai agen reduktor terhadap kadar Fe Total pada produk hasil reduksi briket dan pasir besi menggunakan *muffle furnace*?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis arang sebagai agen reduktor terhadap derajat Metalisasi pada produk hasil reduksi briket pasir besi menggunakan *muffle furnace*?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menganalisa masalah pada penelitian ini terdapat berapa batasan masalah yaitu:

1. Pasir besi berasal dari daerah Sukabumi, Jawa Barat.
2. Komposisi pasir besi, arang, dan kapur dianggap homogen.
3. Diasumsikan tidak ada *heat loss* dalam *muffle furnace*.
4. Kanji digunakan sebagai pengikat dan pengaruh kanji reaksi diabaikan.
5. Permeabilitas dan porositas pasir besi diasumsikan sama.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan yaitu:

1. Menganalisa pengaruh variasi jenis arang sebagai agen reduktor terhadap kadar Fe Total pada produk hasil
-



reduksi briket dan pasir besi menggunakan *muffle furnace*.

2. Menganalisa pengaruh variasi jenis arang sebagai agen reduktor terhadap derajat Metalisasi pada produk hasil reduksi briket pasir besi menggunakan *muffle furnace*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi metalurgi ekstraksi di Indonesia. Terutama dalam pengembangan proses reduksi pasir besi menjadi *Sponge iron* dalam skala besar menggunakan proses *tunnel kiln*.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi dalam Lima bab, yaitu:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan penulisan laporan hasil penelitian.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang teori-teori dari literatur yang berhubungan dan menunjang analisa permasalahan dalam penelitian ini.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi rancangan penelitian, prosedur pelaksanaan, spesifikasi peralatan dan material uji.

---



#### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data-data yang diperoleh selama penelitian, pembahasan dari data yang diperoleh sesuai dengan permasalahan yang ditetapkan pada penelitian.

#### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari data-data yang diperoleh dan merupakan jawaban dari permasalahan penelitian. Disertai dengan hal-hal yang sebaiknya dilakukan pada penelitian yang akan datang atau masalah-masalah yang dialami pada saat proses penelitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pasir Besi**

Pasir besi pada umumnya mempunyai komposisi utama besi oksida yaitu magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) serta silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ) serta senyawa-senyawa lain yang kandungannya lebih rendah (Solihah, 2010). Magnetit memiliki fasa kubus, sedangkan maghemit dan hematit meskipun memiliki komposisi kimia yang sama namun kedua bahan tersebut memiliki fasa yang berbeda. Maghemit berfasa kubus sedangkan hematit berfasa heksagonal. Para peneliti lazimnya menggunakan hematit sebagai bahan dasar dalam proses sintesis serbuk magnet ferit karena hematit memiliki fasa tunggal yang dipercaya akan memiliki sifat kemagnetan yang kuat jika dibandingkan dengan fasa campuran (Yulianto, 2007). Ketiga fasa tersebut dapat diperoleh melalui oksidasi dengan temperatur yang berbeda. Awalnya bahan berupa magnetit dan ketika pemanasan mencapai temperatur  $250^\circ\text{C}$  maghemit mulai terbentuk dan mendominasi pada temperatur  $350^\circ\text{C}$ . Pada suhu  $450^\circ\text{C}$  komposisi fasa maghemit mulai menurun dan bertransformasi fasa menjadi maghemit dengan bentuk struktur tetragonal. Sedangkan hematit mulai muncul pada suhu  $550^\circ\text{C}$  berfasa tunggal dan mendominasi pada suhu  $700\text{-}800^\circ\text{C}$  (Mashuri *et al*, 2007).



**Gambar 2.1** Pasir Besi

Pasir besi biasanya tidak terlepas dari kandungan titan didalamnya. Mineral magnetit umumnya berwarna abu-abu, jika dilihat dibawah mikroskop, berkrystal isometrik, ukuran butir kurang dari 1 mm, tidak memperlihatkan *birefractance*, isotropis, tidak memperlihatkan refleksi dalam, merupakan mineral yang dominan dan memperlihatkan *intergrowth* dengan mineral ilmenit membentuk *boxwork* dan *network type*. Mineral ilmenit terlihat dibawah mikroskop berwarna terang, berkrystal rombohedral, memperlihatkan *birefractance* lemah, anisotropis kuat, *intergrowth* dengan magnetit yang berbentuk lamellar halus berada di dalam matriks magnetik, memperlihatkan refleksi dalam warna coklat tua. Sedangkan mineral hematit dibawah mikroskop terlihat berwarna abu-abu kebiruan, rombohedral, *birefractance* lemah, anisotropis, refleksi dalam merah tua, berbentuk tubular, subhedral dengan kondisi ilmenit yang membentuk jala-jala halus didalam matriks magnetit, akan mempersulit penapisan

---



besi dengan  $\text{TiO}_2$ , secara magnetik, karena  $\text{TiO}_2$  akan selalu ikut pada logam besi.

Pemisahan  $\text{TiO}_2$  secara konvensional dengan teknologi *blast furnace* akan menimbulkan masalah pada tahap reduksi dan peleburan, pada saat terjadi reduksi antara besi dan  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  yang terbentuk akan berada di dalam *slag* dan dapat tereduksi menjadi  $\text{Ti}_2\text{O}$ , yang dapat mengakibatkan *slag* akan semakin kental, sehingga sulit untuk memisahkan *slag* dan cairan besi yang terbentuk di dalam *blastfurnace tap hole* (Edi Harianto, 2008).

## 2.2 Batubara

Batubara adalah batuan organik (bertolak belakang dengan batuan lainnya di kerak bumi, seperti tanah liat dan batu pasir, yang anorganik); mengandung sebagian besar karbon (C), tetapi juga memiliki hidrogen (H), oksigen (O), sulfur (S) dan nitrogen (N), serta beberapa anorganik konstituen (mineral) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Sebagian besar batubara dunia ada di belahan bumi utara. Amerika Serikat, Uni Soviet dan Cina bersama-sama memiliki lebih dari 80% cadangan dari keseluruhan batubara di dunia (lihat Gambar 7-1). Selain itu, banyak dari negara-negara di belahan selatan belum mengalami perkembangan industri pada tingkat yang sama seperti belahan utara, dan belum memiliki kebutuhan (maupun sumber daya keuangan) untuk mengintensifkan program eksplorasi untuk mencari dan mengevaluasi cadangan bahan bakar (W. Fulkerson et al, 1990).

Secara umum batubara dapat dikategorikan berdasarkan nilai kalori, kandungan air, dan kandungan karbon seperti pada Tabel 2.1.



**Tabel 2.1** Kategori Batu Bara dan Nilai Kalori (Pelletier, 1984)

No	Kategori	H <sub>2</sub> O (%)	C (%)	Nilai Kalori (kcal/kg)
1.	Lignite	43,4	37,8	4,113
2.	Sub-bituminous	23,4	42,4	5,403
3.	Low Volatile Sub-bituminous	11,6	47	7,159
4.	Medium Volatile Sub-bituminous	5	54,2	7,715
5.	High Volatile Sub-Bituminous	3,2	64,6	8,427
6.	Sub-anthracite	6	83,8	8,271
7.	Anthracite	3,2	95,6	8,027

Komponen pembentuk batu bara berdasarkan analisis proksimat terdiri dari: kelembaban (Moisture = M), abu (Ash = A), materi mudah menguap (Volatile Matter = VM), karbon tertambat (Fixed Carbon = FC). Komponen volatile adalah kandungan yang mudah menguap kecuali moisture. Penguapan terjadi pada temperatur tinggi tanpa adanya udara (pyrolysis), umumnya adalah senyawa organik, gas CO<sub>2</sub>, dan gas SO<sub>2</sub> yang terdapat pada batubara. Penentuan volatile content dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 900 – 950 °C selama 7 menit. Karbon tertambat adalah jumlah karbon yang terdapat di batubara. Penentuan karbon tertambat dengan cara



mengurangi jumlah material mudah menguap dan kandungan air serta abu pada kondisi udara kering (Faris 2015).

Dalam proses DRI pada umumnya, konsumsi partikel batubara dalam produksi DRI tergantung pada stoikiometri reaksi, Kadar fixed carbon, dan hilangnya fixed carbon. Diperkirakan biaya batubara mencapai 75% dari biaya pembuatan DRI dalam rotary kiln. Kualitas batubara sangat berpengaruh dalam seluruh biaya produksi sponge iron. Untuk itu, pemilihan batubara untuk proses harus sangat kritis dan hati-hati (Alief, 2015)

### 2.3 Arang

Masturin (2002), menyatakan arang adalah residu yang berbentuk padatan yang merupakan sisa dari proses pengkarbonan bahan berkarbon dengan kondisi terkendali di dalam ruangan tertutup seperti dapur arang. Menurut Sudrajat dan Soleh (1994) dalam Triono (2006) arang adalah hasil pembakaran bahan yang mengandung karbon yang berbentuk padat dan berpori. Sebagian besar porinya masih tertutup oleh hidrogen dan senyawa organik lain yang komponennya terdiri dari abu, air, nitrogen, dan sulfur.

Arang adalah produk yang diperoleh dari pembakaran tidak sempurna. Pembakaran tidak sempurna terhadap tempurung kelapa akan menyebabkan senyawa karbon kompleks tidak teroksidasi menjadi karbon dioksida. Peristiwa tersebut disebut sebagai pirolisis. Pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga sebagian besar molekul karbon yang kompleks terurai menjadi karbon atau arang. Pirolisis untuk pembentukan arang terjadi pada temperatur 150–3000° C. Pembentukan arang tersebut disebut

---





sebagai pirolisis primer. Arang dapat mengalami perubahan lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hidrogen dan gas-gas hidrokarbon. Peristiwa ini disebut sebagai pirolisis sekunder. Makin rendah kadar abu, air, dan zat yang menguap maka makin tinggi pula kadar *fixed* karbonnya. Mutu arang tersebutpun akan semakin tinggi pula (Nurjito, 2008)

Peristiwa terbentuknya arang dapat pula terjadi dengan cara memanasi secara langsung atau tidak langsung terhadap bahan berkarbon di dalam timbunan, kiln, oven, atau di udara terbuka. Untuk menghasilkan arang umumnya bahan baku dipanaskan dengan suhu diatas  $500^{\circ}\text{C}$ . Faktor yang berpengaruh terhadap proses karbonisasi adalah kecepatan pemanasan dan tekanan. Pemanasan yang cepat sukar untuk mengamati tahapan karbonisasi yang terjadi dan rendemen arang yang dihasilkan dan rendemen arang yang dihasilkan lebih rendah. Sedangkan pemakaian tekanan yang tinggi akan mampu meningkatkan rendemen arang (Hendra, 1999 *dalam* Masturin, 2002).

Ada banyak sekali jenis arang yg diproduksi di Indonesia, antara lain ialah: arang tempurung kelapa, sekam padi, kayu asem, kayu alaban, kayu besi, kayu putih, cangkang kelapa sawit, Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dsb. Dari berbagai macam jenis arang tersebut yang layak digunakan sebagai agen reduktor dalam proses Direct Reduction Iron harus memperhatikan hal hal berikut:

1. Kandungan fixed carbon yang cukup tinggi
  2. Kandungan sulfur dan phospor yang rendah
  3. Kandungan ash yang rendah
  4. Kandungan Volatile Meter yang rendah
  5. Ketersediaan yang melimpah
-



**Gambar 2.2** (a) Arang batok kelapa, (b) Arang Kayu Asem, (c) Arang Kayu Alaban

Arang dapat digunakan sebagai pengganti batubara, dimana kandungan fixed carbon yang dibutuhkan dalam proses pembakaran Direct Reduction Iron tercukupi. Kandungan fixed carbon sangat menentukan dalam proses Direct Reduction Iron. Semakin tinggi kandungan fixed carbon maka pembakaran semakin maksimal. Adapun perbandingan kandungan fixed carbon dalam batu bara dengan arang tempurung kelapa dapat dilihat dalam tabel :



**Tabel 2.2** Perbandingan Kandungan Fixed Carbon Batu Bara Dan Arang Tempurung Kelapa (Nukman, 2011)

Material	Kadat Air	Kadar Abu	V'M	Fixed Carbon	Nilai Kalori
	%	%	%	%	(kkal/kg)
Batu bara sub-bituminus	3,58	6.5	43.65	46,27	6453
Arang Tempurung Kelapa	8,04	4.37	13.24	74.35	6919

## 2.4 Limestone

Salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui adalah batu kapur. Limestone merupakan istilah yang digunakan untuk batuan karbonat atau fosil yang terbentuk secara pokok terdiri dari kalsium karbonat atau kombinasi dari kalsium dan magnesium karbonat dengan variasi sejumlah impuritas seperti silica dan alumina. Sedangkan lime tidak terlalu bervariasi dibandingkan limestone, merupakan hasil kalsinasi atau pembakaran batuan limestone. Proses kalsinasi memaksa keluar karbon dioksida dari batuan, membentuk kalsium oksida (Bonyton 1980).



**Gambar 2.3** Batu Kapur

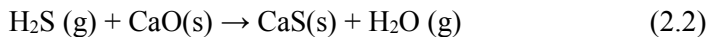
Batu kapur ditemukan secara alami dalam mineral dengan bentuk polimorf. Polimorf merupakan sebuah mineral dengan rumus kimia yang Sama tetapi memiliki struktur Kristal yang berbeda. Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) memiliki tiga macam bentuk polimorf, yaitu kalsit, aragonit dan vaterit dengan struktur Kristal berturut-turut rombohedral, heksagonal, dan ortorombik. Ketiga struktur tersebut kalsit memiliki fasa paling stabil (Maciewsky 1993).

Beberapa contoh mineral batu kapur (Bonyton 1980): Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ , rombohedral), Aragonit ( $\text{CaCO}_3$ , ortorombik), Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , rombohedral), Magnesit ( $\text{MgCO}_3$ , rombohedral). Dalam penelitian ini jenis batu kapur yang digunakan adalah dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), batu kapur dalam proses reduksi berperan dalam menyediakan gas  $\text{CO}_2$  untuk reaksi pembentukan gas CO (reaksi Boudouard). Gas  $\text{CO}_2$  diperoleh dengan reaksi dekomposisi dolomit pada persamaan reaksi (2.6).





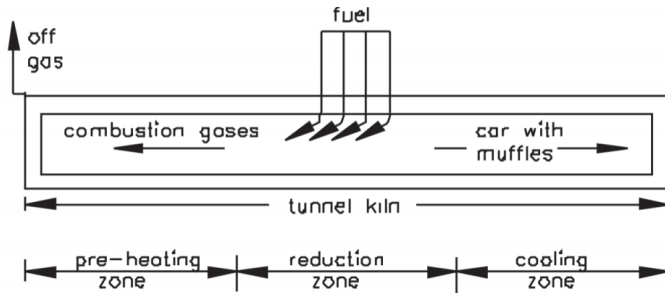
Selain itu batu kapur berperan sebagai flux agent atau pengikat pengotor. Batu kapur dapat berperan dalam proses desulfurisasi batubara melalui reaksi (2.1) pada range temperatur 870 hingga 1037 °C (Spencer 1985).



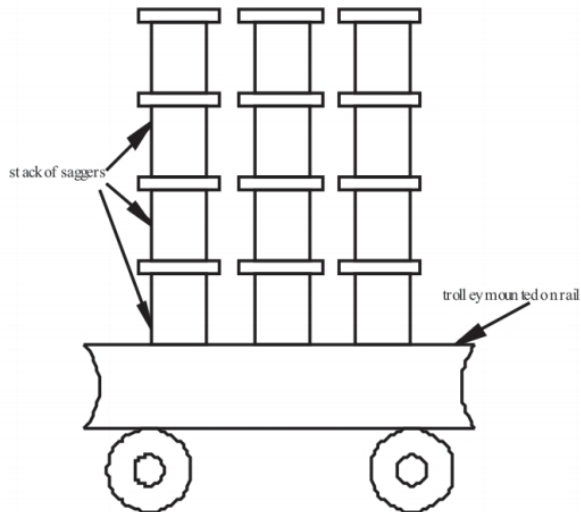
## **2.5 Proses Reduksi dalam Besi Pembuatan Sponge Iron (Hoganas Process/Tunnel Kiln)**

Proses E. Sieurin Hoganas dikembangkan di Hoganas, Swedia pada tahun 1910, dan melibatkan reduksi carbothermic pada tunnel kiln (Ektrop, 1945). Lapisan yang terdiri dari bijih besi yang fine-grade high-grade, kokas, dan batu kapur dimasukkan ke dalam wadah keramik berbentuk silinder yang biasa disebut sagger. Susunan bahan dalam sagger dilakukan dengan meletakkan konsentrat bijih besipada tengah silinder dan diantara konsentrat bijih besi dan sagger diisi dengan campuran kokas dan batu kapur. Tunnel kiln digunakan dalam proses, sagger, dan susunan bahan Baku dalam sagger ditunjukkan pada Gambar 2.4; 2.5; dan 2.6 (Stephenson dan Smailer, 1980).

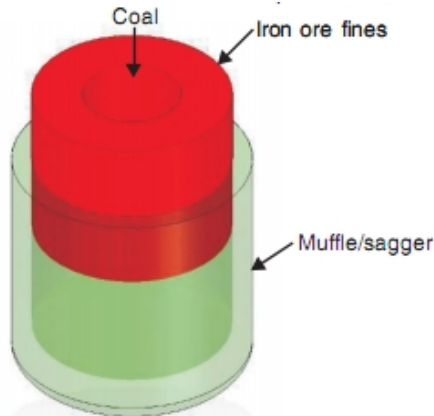
Sagger dipanaskan hingga temperatur 1260°C pada tunnel kiln. Furnace dipanaskan dengan gas hasil pembakaran dan karbon monoksida yang dihasilkan reduksi bijih. Sagger didinginkan dalam furnace, diangkat dan hasil reduksi dipisahkan. Total waktu penyimpanan sagger dalam tunnel kiln sekitar 80 jam. Kebanyakan DRI diproduksi dalam iron powder.



**Gambar 2.4** Tunnel kiln dalam proses Haganas



**Gambar 2.5** Susunan sagger pada kereta dalam Haganas kiln



**Gambar 2.6** Susunan bahan baku pada penampang horizontal sagger

Tiga Hoganas plant beroperasi di Oxelound, Swedia (40.000 tpa, 2 tunnel kiln 165 m), Hoganas, Swedia (65.00 tpa, 3 tunnel kiln 270 m) dan Riverton, New Jersey, Amerika (67.00 tpa, tunnel kiln 180 m). Metalisasi pada produk Hoganas adalah 95-96%. Konsumsi bahan Baku di proses ini untuk produksi 1 ton sponge iron pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Konsumsi bahan dan energi dalam proses Hoganas (Chatterjee, 2010)

Parameter	Nilai
Konsentrat bijih besi	1350 kg
Kokas	500 kg
Kapur	125-130 kg
Konsumsi energi	15,5 GJ



## 2.6 Termodinamika Pasir Besi

Diagram Ellingham merupakan diagram yang berisi energi bebas suatu reaksi yang diplot ke dalam suatu grafik dengan parameter energi bebas vs temperatur. Pada diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling atas. Nilai  $\Delta G^\circ$  untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai  $\Delta G^\circ$  suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida. Dari diagram Ellingham pada Gambar 2.7 dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan agar terjadi reaksi tersebut terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentukan CO. Termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas yang dimiliki. Namun tidak dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut berjalan pada temperatur tertentu.

Reduksi dari besi oksida dapat digambarkan dengan skema berikut:

Pada  $T > 570^\circ\text{C}$   $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$

Pada  $T < 570^\circ\text{C}$   $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}$  karena

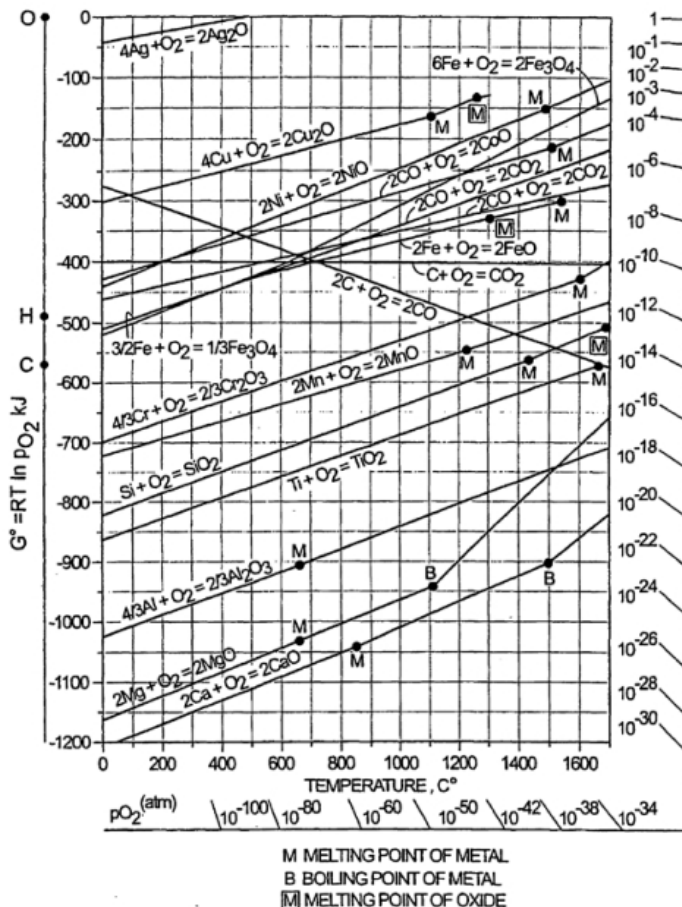
Pada  $T < 570^\circ\text{C}$  terjadi reaksi  $4\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}$  (2.3)

Klasifikasi reaksi reduksi bijih besi berdasarkan reducing agent dikemukakan oleh metallurgist Prancisc

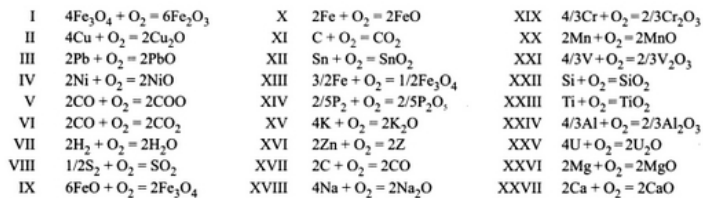


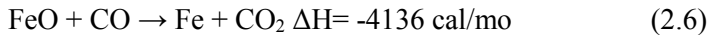


bernama Jacques Assenfratz pada tahun 1812 (Chatterjee, 1988). Dia membuktikan secara pengujian bahwa reduksi bijih besi terjadi dalam 2 Cara, yaitu: kontak antara bijih dan arang atau interaksi dengan reducing gas.



**Gambar 2.7** Diagram Ellingham (Ross,1980)

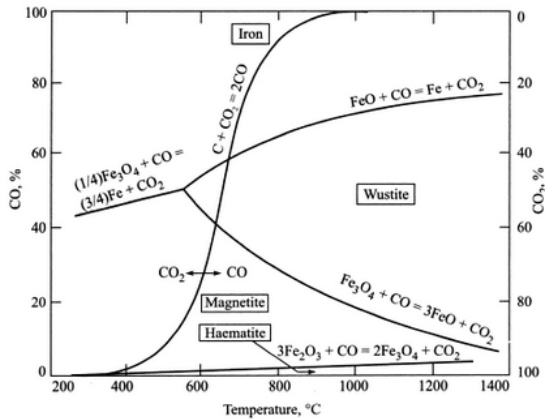




Entalpi reaksi pada 25°C dapat diketahui dari entalpi pembentukan. Reaksi 2.4 dan 2.6, mempunyai entalpi negatif, yang berarti reaksi eksotermik dan reaksi 2.5 mempunyai entalpi positif, berarti reaksi endotermik dan membutuhkan energi. Karena wustit metastabil di bawah 570°C, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat direduksi dalam satu langkah menjadi besi metalik, tanpa melewati reaksi wustit.



Dari standard energi untuk reaksi (2.4), (2.5), dan (2.6) dapat diketahui konstanta kesetimbangan dan komposisi fasa gas pada setiap temperatur. Setiap data kesetimbangan komposisi gas yang diperoleh dari kalkulasi dapat diplotkan dalam diagram komposisi gas terhadap fungsi temperatur. (Gambar 2.8)



**Gambar 2.9** Kesetimbangan komposisi gas terhadap fungsi temperatur pada sistem Besi-Karbon-Oksigen (Arabinda dan Bidyapati, 2011)

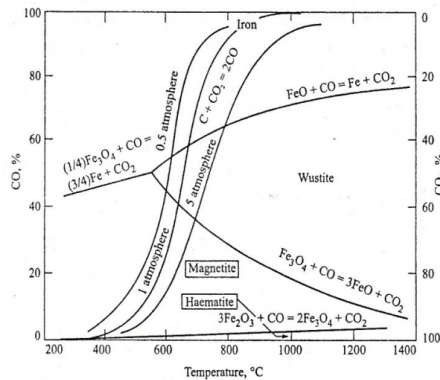
Dalam sistem solid dan reduktor berfasa gas, seluruh rekasi selama reduksi bijih besi dapat terjadi dalam dua langkah (Ross, 1980)<sup>25)</sup>: reduksi bijih besi (2.9) dan gasifikasi karbon (2.10)



Dalam reaksi Boudouard, ketika karbon dioksida bereaksi dengan karbon membentuk karbon monoksida, 1 volume karbon dioksida menghasilkan 2 volume karbon monoksida pada tekanan konstan. Jika dalam volume konstan, reaksi Akan meningkatkan temperatur. Jika tekanan meningkatkan, maka kesetimbangan istem karbon oksigen Akan bergeser untuk melepas tekanan. Oleh karena itu untuk



menjaga rasio  $\text{CO}/\text{CO}_2$  tetap Sama pada tekanan tinggi, temperatur harus ditingkatkan. Sehingga ditunjukkan pada Gambar 2.9, kurva reaksi (2.9) Akan bergeser ke kanan menuju temperatur yang lebih tinggi.



**Gambar 2.10** Pengaruh tekanan terhadap kesetimbangan reaksi boudouard (Chatterjee, 1988)

## 2.7 Kinetika Reduksi Besi

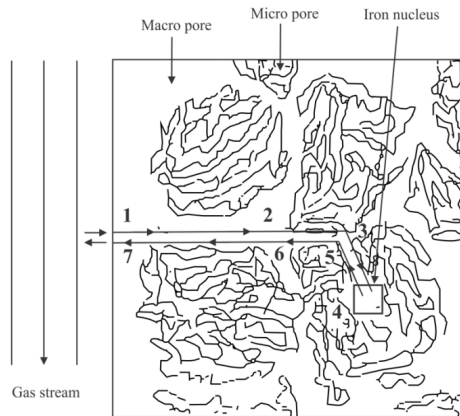
Kinetika reaksi reduksi bijih besi adalah kecepatan besi oksida untuk bertransformasi menjadi logam besi dengan melepaskan oksigen. Kecepatan reaksi reduksi bijih besi ditentukan oleh tinggi rendahnya kemampuan bijih besi tersebut untuk direduksi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran partikel, bobot jenis, porosity, struktur Kristal, serta komposisi kimia (El-Geassy dkk, 2007). Kinetika reduksi langsung menggunakan reduktor batu Bara dipengaruhi oleh kombinasi beberapa mekanisme, yaitu perpindahan panas, perpindahan



Massa oleh konveksi, difusi fase gas, serta reaksi kimia dengan gasifikasi karbon. El-Geassy dkk (2007). menjelaskan bahwa ada banyak faktor yang mempengaruhi reduksi besi oksida seperti komposisi bahan Baku, basisitas, komposisi gas, dan suhu reduksi. Pengaruh komposisi gas terjadi pada perubahan volume dari besi oksida pada suhu 800-1100 °C.

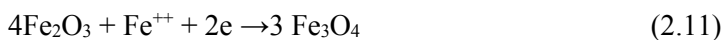
Bijih besi dapat dianggap tersusun atas butiran-butiran. Celah diantara butiran-butiran dikenal sebagai Pori makro dan Pori yang lebih kecil dikenal sebagai Pori mikro. Mekanisme reduksi bijih besi bertahap melalui langkah-langkah sebagai berikut dan diilustrasikan Gambar 2.11.

1. Difusi gas reduktor melewati lapisan batas butir.
2. Difusi gas reduktor melalui pori-pori makro pada bijih besi.
3. Difusi gas reduktor melalui pori-pori mikro menuju posisi reaksi.
4. Reaksi pada batas fasa.
5. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori mikro.
6. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori makro.
7. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui lapisan batas butir.



**Gambar 2.11** Garis besar mekanisme reduksi untuk bijih besi berpori (McKewann, 1958)

Beberapa mekanisme reaksi reduksi telah diajukan dalam beberapa literatur. Mekanisme yang diajukan Edstrom untuk bijih yang dikeraskan dapat diterima. Berdasarkan Gambar 2.11 mekanisme ini mengklaim oksigen dihilangkan dari antarmuka besi-wustit dengan reaksi (2.6). Oksida lain direduksi menjadi oksida yang lebih rendah dengan difusi ion besi dan elektron berdasarkan reaksi:



Berdasarkan mekanisme ini, oksigen dihilangkan dari besi oksida hanya pada antarmuka besi-wustit dengan reaksi gas CO Atau H<sub>2</sub> yang masuk melalui lapisan besi dan hasil gas CO<sub>2</sub> atau uap air terdifusi keluar. Mekanisme kedua diusulkan McKewan pada tahun 1962 dan diaplikasikan pada bijih berpori, oksigen dihilangkan dengan gas reduktor secara

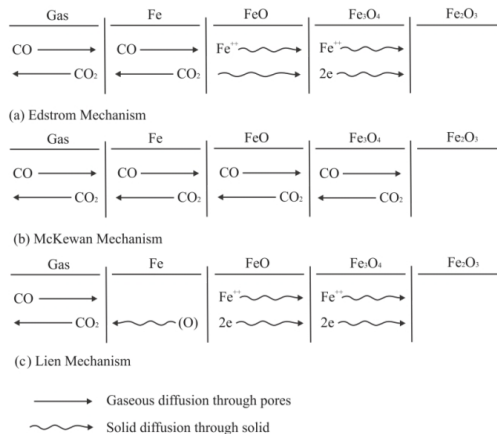


keseluruhan pada semua antarmuka. Pada kondisi ini, reaksi terjadi adalah reaksi (2.4), (2.5), dan (2.6). Mekanisme ketiga diusul oleh Lien, El-mehairy dan Ross yang menyerupai mekanisme yang diusulkan Edstrom (Takuda, Yoshikoshi, dan Ohtano, 1973). Pada pendekatan ini C atau  $H_2$  mereduksi wustit menjadi besi, C atau  $H_2$  bereaksi pada permukaan lebih luar dari lapisan besi yang tidak tembus gas reduktor. Tiga mekanisme reduksi bijih besi dapat dilihat pada Gambar 2.11 dimana gasir vertikal menggambarkan antarmuka antara empat fasa.

Dari semua mekanisme reduksi, langkah-langkah yang mendasar dalam reduksi bijih besi, diantaranya (Prasetya dan Eko, 2008):

- (i) Perpindahan panas dalam reaksi antarmuka
  - (ii) Perpindahan Massa antara gas dan permukaan padat oksida, yang meliputi difusi gas reduktor kedalam permukaan solid atau gas hasil reduksi keluar dari permukaan.
  - (iii) Perpindahan Massa antara permukaan oksida dan reaksi antarmuka internal melalui lapisan hasil reduksi, yang dipengaruhi oleh:
    - Difusi solid melalui oksida rendah
    - Difusi solid melalui lapisan besi metal
    - Difusi antar partikel gas reduktor atau gas hasil reduksi.
  - (iv) Reaksi kimia penghilangan oksigen pada permukaan antarmuka.
  - (v) Pengintian dan pertumbuhan fasa besi metalik.
-





**Gambar 2.12** Mekanisme reduksi bijih besi (Arabinda,2011)

Faktor yang mempengaruhi kemampuan reduksi bijih besi adalah:

- i. Sifat besi oksida dalam bijih
- ii. Sifat dan komposisi pengotor
- iii. Ukuran dan bentuk bijih
- iv. Porositas dan struktur Kristal
- v. Swelling
- vi. Kecepatan linier gas
- vii. Temperatur
- viii. Komposisi gas
- ix. Tekanan gas

## 2.8 Sponge Iron

Sponge Iron merupakan bentuk *Solid State* dari reaksi *reduksi* langsung. Selain bentuk *solid state* dapat juga berbentuk *Agglomerat* yang secara prinsipnya tersusun dari



besi metallic, oksida besi sisa, dan pengotor sejenis fosfor, sulfur, dan *gangue*(*silica dan alumina*). Hal ini dikarenakan pada proses pembuatannya *Sponge Iron* menggunakan bahan dasar berupa bijih besi yang berupa Oksida (Magnetit, Hematit, dll) serta pengotornya. Menurut standar IS 15774: 2007 dalam praktiknya sebuah sponge iron harus memiliki derajat metalisasi lebih dari 82%. Hal ini dikarenakan *Sponge Iron* digunakan sebagai bahan baku dalam proses *Steel Making*, selain dari besi *scrap*.

Proses pembuatan *sponge iron* sudah ada sejak tahun 1300 M, dan merupakan sumber utama dalam pembuatan besi dan baja sebelum proses *Blast Furnace* ditemukan. Pembuatannya dulu memakai *Hearth Furnace* atau *Shaft Furnace*, dengan charcoal sebagai bahan bakar dan reduktor. Walaupun proses ini sudah ada namun masih terus digunakan sampai sekarang dengan berbagai perbaikan dan pengembangan (Feinman, 1999).



**Gambar 2.13** Produk *Sponge Iron* pada umumnya (Khattoi, 2014)

---



## 2.9 Penelitian Sebelumnya

Tabel 2.3 Hasil Penelitian Sebelumnya Mengenai Sponge Iron

NO	Nama Peneliti	Tahun	Judul	Hasil
1	Barun Mishra, Sandeep Kumar	2014	Kinetics of Iron ore Reduction by coal and charcoal	Dalam penelitian ini, Barun membandingkan efisiensi pembakaran antara batu bara dan batu kapur dimana variabel yang digunakan ialah temperatur dan waktu. Hasilnya, derajat reduksi yang paling maksimal ialah pada temperatur 1000°C dengan waktu 90 menit pada spesimen arang.
2	Rahul Sen	2014	Utilization Of Low Grade Coal For Direct Reduction Of Mill Scale To Obtain Sponge Iron: Effect Of Reduction Time And Particle Size	Rahul sen mengoptimalkan batu bara kelas rendah (sub-bituminous) yang dibakar pada muffle furnace pada suhu 900°C dimana variabel yang digunakan ialah waktu pembakaran dan ukuran partikel. Hasilnya, derajat reduksi paling maksimal (81,64%) ialah pada waktu 90



				menit dengan ukuran partikel 60-100 ASTM sieve size.
3	Ashid Bahtiar Anhar	2015	Studi Pengaruh Komposisi Batu Bara Dan Batu Kapur Pada Briket Pasir Besi Terhadap Kandungan Fe Total Dan Fe Metalisasi.	Anhar meneliti briket pasir besi yang dibakar dalam <i>muffle furnace</i> pada temperatur 1250°C dengan preheat 2 jam, holding 10 jam. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ialah komposisi kapur dan batu bara. Hasilnya, fe total dan fe metalisasi tertinggi ialah dengan perbandingan pasir besi, kapur, batu bara 2,3:1:0,6
4	Soesaptri Oedayani, Suharto	2016	The Effect Of Reduction Time And Size Distribution Of Mixed Iron Ore With Coconut Shell Charcoal On The Percentage Of Metallization By Using A Rotary Kiln	Soesaptri mencampurkan pelet bijih besi dengan arang tempurung kelapa sebanyak 20% lalu di bakar dalam <i>muffle furnace</i> 1100°C dimana variabel dalam penelitian ini ialah ukuran pelet dan waktu holding. Hasilnya, derajat metalisasi paling optimal ialah pada pelet ukuran (-



				12+8mm) dengan waktu 90 menit.
5	Alfian Pangestu	2016	Studi Variasi geometri briket campuran pasir besi dan bijih besi terhadap kandungan fe total dan Fe metal pada proses pembuatan sponge iron.	Pangestu meneliti briket campuran pasir besi yang dibakar dalam muffle furnace pada temperatur 1250°C dengan preheat 2 jam, holding 10 jam. Variabel yang digunakan dalam penelitian ialah geometri briket. Hasilnya, fe total (64,8%) dan fe metal (95,8%) yang paling optimal ialah briket bantalan.
6	Alief Bram Hidayatullah	2016	Studi Variasi dimensi briket campuran pasir besi dan bijih besi terhadap kandungan derajat reduksi dan Fe metal pada proses pembuatan sponge iron.	Hidayatullah meneliti briket campuran pasir besi yang dibakar dalam muffle furnace pada temperatur 1250°C dengan preheat 2 jam, holding 10 jam. Variabel yang digunakan dalam penelitian ialah dimensi briket. Hasilnya, derajat reduksi (68.778%) dan fe metal (66.52%) dengan dimensi briket berukuran (7.9 cm diameter dalam,



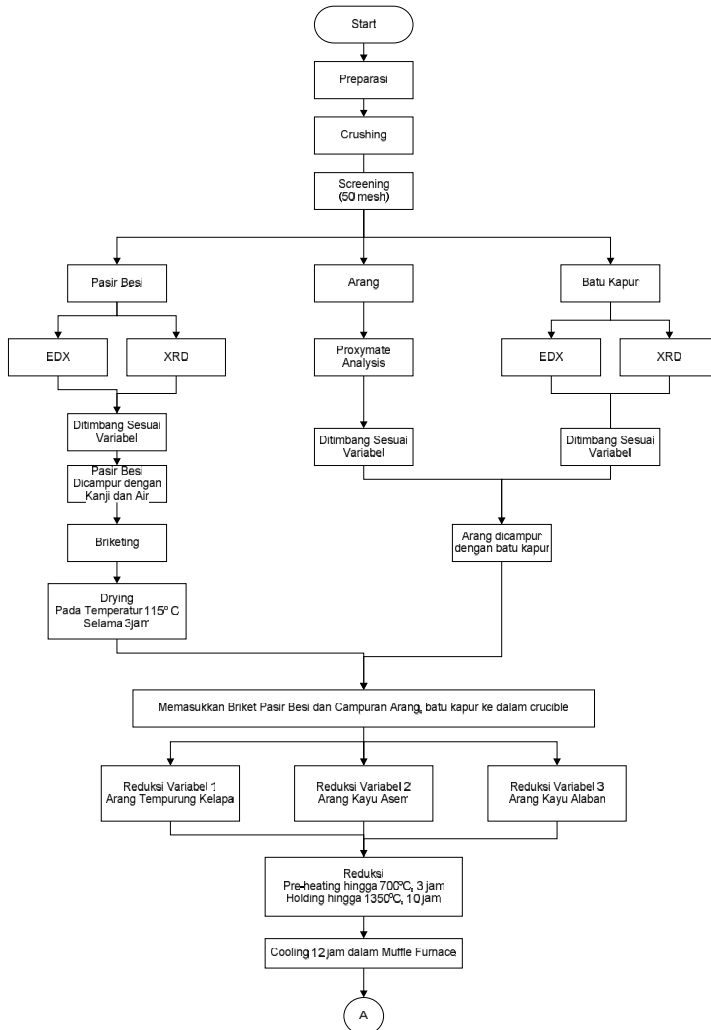
				15.1 cm diameter luar dan 19.5 cm tinggi).
7	Komarudin,	2008	Studi Pengaruh Penambahan batu bara terhadap intensitas Fe	Komarudin meneliti pengaruh penambahan batu bara terhadap proses reduksi batu besi. Dimana variabel yang dipakai ialah dengan perbandingan batu besi dan batu bara 1;1, 1;3 dan 1;5 dengan waktu 5,10 dan 20 menit. Hasil yang paling maksimal ialah saat perbandingan 1,5 dengan waktu 10 menit.



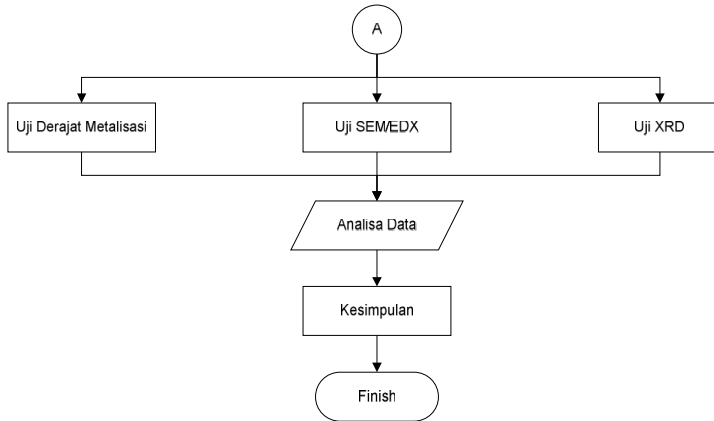
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian







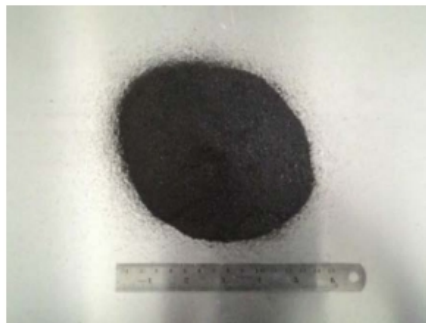
**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

### 3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

#### 3.2.1 Pasir Besi

Pasir besi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir besi yang berasal dari daerah Sukabumi, Jawa Barat. Pasir besi diayak terlebih dahulu hingga ukuran 50 mesh.



**Gambar 3.2** Pasir Besi



### 3.2.2 Arang

Ada tiga jenis arang yang dipakai dalam penelitian ini diantaranya ialah arang batok kelapa, arang kayu asem, dan arang kayu alaban. Dari ketiga jenis arang tersebut berfungsi sebagai penyedia gas reduktor, ketiga arang tersebut dalam penelitian ini dihancurkan hingga ukuran  $< 50$  mesh.



**Gambar 3.3** (a) Arang batok kelapa, (b) Arang Kayu Asem, (c) Arang Kayu Alaban



### 3.2.3 Batukapur

Batu kapur yang digunakan berasal dari Gresik. Batu Kapur terlebih dihancurkan hingga ukuran  $< 50$  mesh. Dalam penelitian ini digunakan Batu kapur sebanyak 70gram untuk satu briket pasir besi.



**Gambar 3.4 Dolomite**

### 3.2.4 Kanji

Kanji digunakan sebagai pengikat (Binder) dalam pembuatan Briket pasir besi.



**Gambar 3.5 Kanji**



### 3.2.5 Air

Air digunakan dalam pembuatan briket pasir besi. Air yang digunakan air ledeng.

### 3.2.6 LPG

LPG atau gas alam merupakan bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan *crucible* dalam *muffle furnace*.



**Gambar 3.6** Tabung LPG

## 3.3 Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa peralatan, antara lain:

### 3.3.1 Crucible

Crucible merupakan silinder tempat berlangsungnya proses reduksi. Crucible terbuat dari Silika Karbida (SiC) dengan dimensi sebagai berikut:

Diameter dalam	: 110 mm
Diameter luar	: 121 mm
Tinggi bagian luar	: 141 mm
Tinggi bagian dalam	: 126 mm
Tebal dinding Crucible	: 11 mm



**Gambar 3.7** Crucible

### **3.3.2 Alat Kompaksi**

Alat Kompaksi digunakan dalam proses pembentukan briket pasir besi berbentuk bantalan (*pillow*). Adapun briket berbahan dasar Pasir: Kanji: air dengan perbandingan 10 : 1 : 1.



**Gambar 3.8** Alat Kompaksi



### 3.3.3 Muffle Furnace

*Muffle Furnace* merupakan alat pereduksi yang digunakan dalam penelitian kali ini. Adapun dimensi dari *Muffle Furnace* adalah sebagai berikut:

Diameter dalam	: 28 cm
Diameter luar	: 32 cm
Tinggi bagian luar	: 40 cm
Tinggi bagian dalam	: 36 cm
Tebal batu tahan api	: 5 cm



**Gambar 3.9** *Muffle Furnace*

### 3.3.4 Timbangan Digital

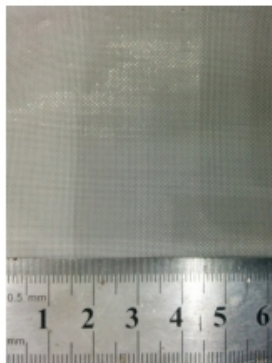
Timbangan digital digunakan untuk acuan takar dari pasir besi, kanji, air, Arang, dan batu kapur sebagai bahan penelitian. Merek dari timbangan adalah *Excelent Scale JCS-B LED* dengan kapasitas maksimal 30Kg.



**Gambar 3.10** Timbangan Digital

### 3.3.5 Ayakan

Ayakan merupakan alat yang menyeleksi Pasir besi, Arang, dan Batu kapur agar yang sesuai dengan ukuran butir yang diinginkan. Adapun saringan yang digunakan untuk pasir besi, Arang dan batu kapur adalah yang berukuran 50 mesh.



**Gambar 3.11** Ayakan



### 3.3.6 Thermocouple dan Thermometer Infrared

*Thermocouple* dan *Thermometer infrared* merupakan alat yang digunakan sebagai Indikator Temperature proses yang berlangsung. Merek dari *Thermometer* adalah *Sanfix*



**Gambar 3.12** (a) *Thermocouple* (b) *Thermometer infrared*

### 3.3.7 Bond Ball Mill

*Bond Ball Mill* merupakan alat penghancur pasir besi, Arang dan batu kapur hingga berukuran <50 mesh.



**Gambar 3.13** *Bond Ball Mill*

### 3.3.8 Blower

*Blower* merupakan alat untuk meniupkan udara luar ke dalam *muffle furnace*.

---





**Gambar 3.14** Blower

### **3.4 Pelaksanaan Penelitian**

#### **3.4.1 Persiapan Material**

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu:

- a) Pasir besi diayak dengan ukuran ayakan 50 mesh.
- b) Arang dan batu kapur digerus dan dilakukan pengayakan dengan ayakan 50 mesh.
- c) Pasir besi, dan batu kapur diuji XRF dan XRD.
- d) Arang diuji proximate analysis.
- e) Pembuatan 1 buah briket pasir besi

Pasir besi hasil ayakan ditimbang dengan berat 50 gram. Pasir besi dicampur dengan kanji sebanyak 5 gram dan. Campuran pasir besi dan kanji ditambahkan dengan air mendidih sebanyak 5 gram dan diaduk. Perbandingan pasir besi: kanji: air, 10 : 1: 1. Campuran pasir besi, kanji, dan air dibentuk menjadi briket bantalan dengan dikompaksi seperti Gambar 3.16. Dalam satu kali proses reduksi dibutuhkan 4 buah bricket dengan berat 400 gram pasir besi.



Adapun jenis bet arang merupakan hal yang akan dijadikan variable, dimana akan diambil komposisi yang bervariasi sesuai stokiometri.

f) Pembuatan Campuran arang dan batu kapur

Arang hasil ayakan ditimbang dengan berat sesuai perhitungan stokiometri. Batu kapur hasil ayakan ditimbang dengan berat 60 gram.

g) Briket pasir besi dicampur dengan Arang dan batu kapur sesuai dengan perbandingan berat dan dimasukkan dalam crucible.



**Gambar 3.15** Briket hasil kompaksi

### 3.4.2 Proses Reduksi

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses reduksi adalah:

a) Crucible yang berisi bahan baku dimasukkan dalam muffle furnace



- b) Pemanasan crucible dilakukan hingga temperatur 1350°C selama 3 jam dan dilakukan holding pada temperatur 1350 °C selama 10 jam.
- c) Sampel didinginkan didalam muffle furnace selama 12 jam.
- d) Setelah proses ekstraksi selesai, sampel dikeluarkan dari muffle furnace Hasil ekstraksi dikeluarkan dari crucible yang selanjutnya akan dilakukan proses pengujian XRD, EDX, derajat metalisasi.

### **3.4.3 X-Ray Fluorescence (XRF)**

Untuk mengetahui komposisi dan kandungan dari hasil reduksi maka dilakukan pengujian pada sampel hasil reduksi menggunakan Olympus Delta Premium Handed XRF Analyzers milik PT. Asia Resource Sejahtera. Pengujian XRF dapat mengidentifikasi kandungan unsur dari pasir besi. XRF adalah alat yang digunakan untuk menganalisa kandungan unsure dalam bahan yang menggunakan metode spektrometri. Alat ini mempunyai keunggulan analisa yaitu lebih sederhana dan lebih cepat disbanding analisa dengan alat lain. Alat XRF merupakan alat uji tak merusak yang mampu menentukan kandungan unsure dalam suatu bahan padat maupun serbuk secara kualitatif dan kuantitatif dalam waktu yang relatif singkat.



**Gambar 3.16** Olympus Delta Premium Handled XRF Analyzers

### 3.4.4 X-Ray Diffraction (XRD)

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif dilakukan pengujian XRD dari sampel hasil reduksi dengan menggunakan alat XRD PAN Analytical. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 10<sup>-5</sup> ~10 nm, berfrekuensi 10<sup>17</sup> ~10<sup>20</sup> Hz dan memiliki energi 10<sup>3</sup> ~10<sup>6</sup> eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.



**Gambar 3.17** XRD PAN Analytical

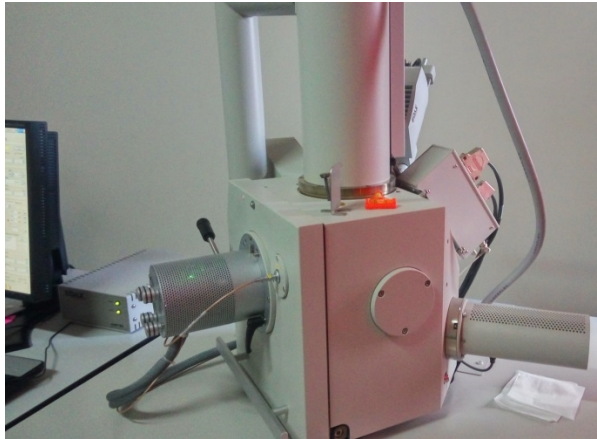
### 3.4.5 X-Ray Diffraction (XRD)

*Scanning Electron Microscope (SEM)* adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran  $10 - 3000000\times$ , *depth of field*  $4 - 0.4$  mm dan resolusi sebesar  $1 - 10$  nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. Adapun fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai: Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya) Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit (IC)* dan *chip*, dan sebagainya). Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya). Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana

---



susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktifitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).



**Gambar 3.18** SEM Analytical

### **3.4.6 Proximate Analysis**

Untuk mengetahui kandungan batubara seperti kadar moisture, volatile matter, ash, dan fixed carbon dilakukan pengujian proximate analysis. Standar pengujian dilakukan dengan ASTM D 3172-02 (Fixed carbon), ASTM D 3173-02 (Moisture), ASTM D3174-02 (Ash), dan ASTM D3175-02 (Volatile matter).

#### **3.4.6.1 Moisture**

Analisa kadar moisture dalam batubara dilakukan dengan standar ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluska hingga 250  $\mu\text{m}$ .



#### Bahan

1. Udara Kering
2. Pengering, seperti kalsium sulfat anhidrat (0.004 mg/L), silika gel, magnesium perklorat (0.0005 mg/L), dan asam sulfat (0.003 mg/L)

#### Alat

1. Oven pengering

#### Prosedur

1. Sampel dikeringkan dengan pengering selama 15 hingga 30 menit dan timbang. Ambil sampel seberat 1 g. Dan letakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.
2. Letakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan (pada 104 hingga 110 °C). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven, dan dinginkan dalam pengering. Timbang segera kapsul ketika mencapai temperature ruangan.
3. Hitung hasil analisa.

#### Perhitungan

$$\text{Moisture, \%} = [(A-B)/A] \times 100 \quad (3.1)$$

dimana,

A = berat sample yang digunakan, gram

B = berat sampel setelah pemanasan, gram

#### 3.4.6.2 Volatile Matter

Analisa kadar volatile matter dalam batubara dilakukan dengan standar ASTM D 3175-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

---



### Alat

1. Krusible platina dengan tutup, untuk batubara kerkapasitas 10-20 ml, diameter 25 -35 ml dan tinggi 30-35 ml.
2. Vertical electric tube furnace.

### Prosedur

1. Timbang sampel seberat 1 g dalam krusibel platina, tutup krusibel dan masukkan dalam furnace, temperatur dijaga  $950 \pm 20^\circ\text{C}$ .
2. Setelah volatile matter lepas, yang ditunjukkan dengan hilangnya api luminous, periksa tutup krusible masih tertutup.
3. Setelah pemanasan tepat 7 menit, pindahkan krusibel keluar furnace dan dinginkan.
4. Timbang ketika dingin.
5. Presentase weigh loss dikurangi presentase moisture sama dengan volatile matter.

### Perhitungan

$$\text{Weight loss, \%} = [(A-B)/A] \times 100 \quad (3.2)$$

dimana,

A = berat sample yang digunakan, gram

B = berat sampel setelah pemanasan, gram

Kemudian persen volatile matter dihitung,

$$\text{Volatile matter, \%} = C-D \quad (3.3)$$

C = weight loss, %

---





D = mixture, %

### 3.4.6.3 Ash

Analisa kadar ash dalam batubara dilakukan dengan standar ASTM D 3174-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Alat

1. Electric muffle furnace
2. Kapsul porselen atau Krusibel platina
3. Tutup krusibel

Prosedur

1. Masukkan 1 g sampel dalam kapsul dan ditimbang dan tutup. Letakkan kapsul dalam furnace dingin. Panaskan dengan hingga 450-500°C selama 1 jam
2. Panaskan sampel hingga temperatur mencapai 700 -750°C selama 1 jam kemudian. Lanjutkan pemanasan hingga 2 jam kemudian. Pindah kapsul keluar dari furnace, dinginkan dan timbang.

Perhitungan

$$\text{Ash, \%} = [(A-B)/C] \times 100 \quad (3.4)$$

dimana,

A = berat kapsul, tutup, dan ash, gram

B = berat kapsul kosong dan tutup, gram

C = berat sampel yang digunakan, gram



#### 3.4.6.4 Fixed Carbon

Analisa kadar fixed carbon dalam batubara dilakukan dengan standar ASTM D 3172-02 dengan perhitungan dari data kadar moisture, ash dan volatile matter.

$$\text{Fixed carbon, \%} = 100\% - (\text{moisture, \%} + \text{ash, \%} + \text{volatile matter, \%}) \quad (3.5)$$

#### 3.4.7 Derajat Metalisasi

Untuk mengetahui Fe metal yang terbentuk dilakukan pengujian derajat metalisasi dengan metode besi klorida. Standar pengujian yang dilakukan adalah IS 15774: 2007. Metode ini melibatkan pelarutan sampel dalam larutan besi (iii) klorida dengan dilanjutkan filtrasi dan titrasi besi yang terlarut dalam filtrat. Reaksi antara besi (III) klorida dan besi metalik (3.6).



Bahan

1. Besi (iii) klorida (10 persen)
2. Larutkan 100 gram besi (iii) klorida ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) dalam air dan larutkan hingga 1 liter
3. Asam Klorida ( $\text{HCl}$ ) 32%
4. Asam Pospat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 85%
5. Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 98%
6. Indikator Sodium Diphenylamine Sulphonate
7. Larutkan tepat 0.32 gram barium diphenylamine sulphonate dalam 100 ml air panas. Tambahkan 0.5 gram sodium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Aduk dan saring



endapan barium sulfat. Simpan filtrat dalam botol bewarna gelap.

8. Potasium Dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ )
9. Larutkan tepat 4.903 gram potassium dikromat (yang sebelumnya telah dikeringkan pada 100 hingga 110) dalam air 1000 ml. Campur dan gunakan sebagai larutan standar.
10. Aquades

#### Alat

1. Kertas saring medium
2. Gelas Erlenmeyer 500 ml
3. Gelas beaker 500 ml
4. Gelas beaker 1000 ml
5. Pipet tetes
6. Biuret
7. Magnetic stirrer berlapis polypropilena
8. Furnace
9. Botol hitam
10. Sarung tangan
11. Masker
12. Tissue

#### Prosedur

1. Masukkan 1 gram sampel dalam gelas Erlenmeyer 500 ml.
  2. Tambahkan 200 ml larutan besi klorida.
  3. Tutup gelas Erlenmeyer.
-



4. Aduk larutan dengan magnetic stirrer selama 1 jam.
5. Saring larutan dengan kertas saring medium.
6. Cuci residu dengan HCl.
7. Masukkan filtrat dalam gelas beaker 1000 ml yang mengandung air 400 ml air, 25 ml asam sulfat, 25 ml asam pospat, 3 hingga 4 tetes sodium diphenylamine sulphonate.
8. Titrasi dengan larutan potasium dikromat (0.1 N) hingga larutan berwarna hijau gelap. 1 ml 0.1  $K_2Cr_2O_7 = 0.001862$  gram besi metalik, Fe (M)

$$\%Fe (M) = Fe (M) / Fe (T) \times 100 \% \quad (3.7)$$

### 3.5 Rancangan Penelitian

**Tabel 3.1** Rancangan Penelitian

No	Jenis Arang (gram)	Batu kapur (gram)	Pasir besi (gram)	Hasil Pengujian			Derajat Metalisasi %
				XRD	XRF	EDX	
1	Tempurung Kelapa	30	50				
2	Kayu Asem	30	50				
3	Kayu Alaban	30	50				



### 3.6 Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian ini disusun agar penelitian dapat dilakukan dengan tepat waktu dan terencana. Jadwal pelaksanaan dalam penelitian ini seperti pada tabel 3.2 berikut,

**Tabel 3.2** Jadwal Penelitian

Kegiatan	September	Oktober				November				Desember		
	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Preparasi alat dan sampel												
Pengujian bahan												
Proses Reduksi												
Pengujian hasil reduksi												
Analisa dan pembahasan												

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakterisasi Bahan Penelitian

##### 4.1.1 Pasir Besi

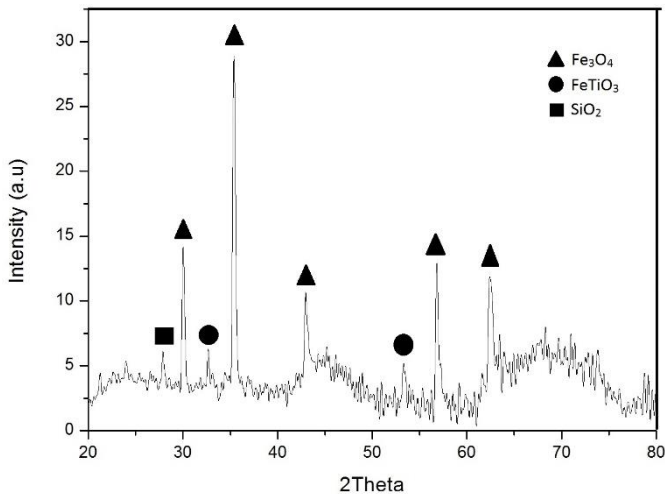
Identifikasi dari Pasir Besi dimulai dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan alat SEM Panalytical milik Jurusan Teknik material Metalurgi ITS. Hasil pengujian EDX dari pasir besi bisa dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4. 1** Hasil pengujian EDX konsentrat pasir besi

Parameter	Fe	Si	Mg	O	Ti	Al
%Wt	57.93	3.14	2.72	24.4	8.46	2.66

Pada hasil pengujian EDX, kadar besi dalam pasir besi masih cukup rendah yaitu 57.93% dan masih banyak unsur seperti silikon, magnesium, Oksida, titanium dan aluminium.

Setelah mengetahui kandungan Unsur-unsur yang dominan dalam Konsentrat Pasir besi dilanjutkan dengan Identifikasi Fasa Pasir Besi dengan menggunakan pengujian XRD, dengan menggunakan mesin XRD *PANalytical X'Pert*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$   $10^0$  sampai  $90^0$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1.54056 \text{ \AA}$ . Pasir besi yang digunakan berupa konsentrat dan berasal dari Sukabumi, yang telah diayak dengan ayakan 50 mesh atau  $300 \mu\text{m}$ . Selanjutnya puncak-puncak dicocokkan dengan kartu dari software PDF-2 Release 2011. Hasil pengujian XRD dari pasir besi dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil Analisa XRD

Hasil pengujian XRD yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1 dapat diketahui fasa dominan yang terdapat pada pasir besi berupa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Selain itu juga terdapat fasa magemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ), dan silika ( $\text{SiO}_2$ ). Kartu JCPDS yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa pada pasir besi yaitu 01-071-6338 (magnetit), 00-004-0755 (magemit), 01-070-6284 (ilmenit), dan 00-005-0490 (Quartz).

#### 4.1.2 Batu Bara

Dalam penelitian ini, batu bara digunakan sebagai variabel pembanding. Pengujian *proximate analysis* merupakan pengujian yang sangat penting dalam menentukan kadar *moisture*, *ash volatile matter* dan *fixed carbon*. Hasil pengujian proximate analysis batubara yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2



**Tabel 4. 2** Hasil pengujian Proxymate Analysis batubara

Parameter	Hasil, %	Standar Pengujian
<i>Moisture</i>	52.86	ASTM D 3173-02
<i>Ash</i>	4.75	ASTM D 3174-02
<i>Volatile Matter</i>	1.80	ASTM D 3175-02
<i>Fixed Carbon</i>	42.35	ASTM D 3172-02

Dari hasil pengujian *proximate analysis*, batubara yang digunakan dalam penelitian ini dapat digolongkan dalam batubara sub bituminous.

#### 4.1.3 Arang

Dalam penelitian ini digunakan jenis arang sebagai Variabel penelitian. Adapun jenis arang yang digunakan berjumlah 3 variabel, yakni arang tempurung kelapa, arang kayu alaban, arang kayu asem. Arang berperan penting menyediakan karbon. Arang bertindak sebagai reduktor yang mereduksi besi oksida menjadi besi metalik. Pengujian *proximate analysis* merupakan pengujian yang sangat penting dalam menentukan kadar *moisture*, *ash volatile matter* dan *fixed carbon*.

##### a. Arang Tempurung kelapa

**Tabel 4. 3** Hasil pengujian Proxymate Analysis Arang Tempurung Kelapa

Parameter	Hasil, %	Standar Pengujian
<i>Moisture</i>	4,10	ASTM D 3173-02
<i>Ash</i>	14,18	ASTM D 3174-02
<i>Volatile Matter</i>	18,76	ASTM D 3175-02
<i>Fixed Carbon</i>	62,96	ASTM D 3172-02

##### b. Arang kayu alaban





**Tabel 4. 4** Hasil pengujian Proxymate Analysis Arang Kayu laban

Parameter	Hasil, %	Standar Pengujian
<i>Moisture</i>	6,58	ASTM D 3173-02
<i>Ash</i>	2,42	ASTM D 3174-02
<i>Volatile Matter</i>	25,14	ASTM D 3175-02
<i>Fixed Carbon</i>	65,86	ASTM D 3172-02

c. Arang kayu Asem

**Tabel 4. 5** Hasil pengujian Proxymate Analysis Arang Kayu asem

Parameter	Hasil, %	Standar Pengujian
<i>Moisture</i>	6,04	ASTM D 3173-02
<i>Ash</i>	3,30	ASTM D 3174-02
<i>Volatile Matter</i>	20,20	ASTM D 3175-02
<i>Fixed Carbon</i>	70,46	ASTM D 3172-02

#### 4.1.4 Batu kapur (dolomite)

Identifikasi dari Batu Kapur dimulai dengan Identifikasi Unsur dengan pengujian XRF (*X-Ray Flourescence*). Pengujian XRF dilakukan dengan alat Olympus Delta Premium Handheld XRF Analyzers milik PT. Asia Resource Sejahtera. Hasil pengujian XRF dari batu kapur bisa dilihat pada Tabel 4.6

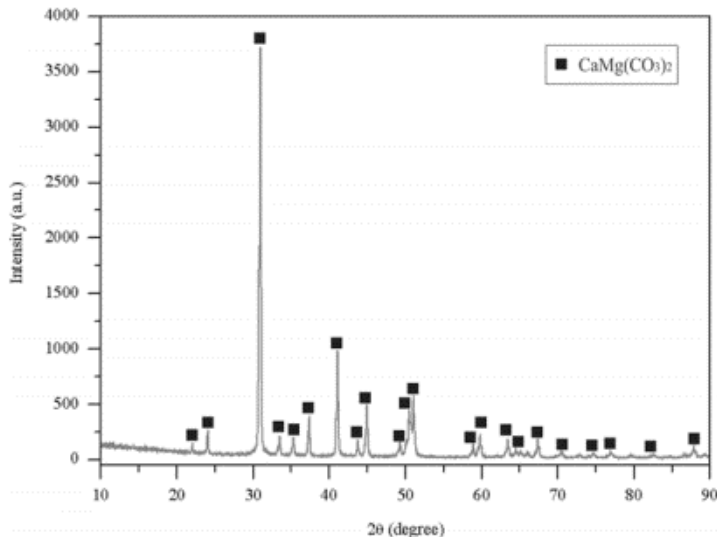
**Tabel 4. 6** Hasil Pengujian XRF Batu Kapur

Parameter	Ca	Mg	Si	Fe	S	Al
%Wt	18.082	13.742	0.546	0.072	0.004	0.001

Setelah mengetahui kandungan unsur-unsur yang dominan dalam Batu Kapur dilanjutkan dengan Identifikasi Fasa Batu kapur dengan menggunakan pengujian XRD, dengan menggunakan mesin XRD *PANalytical X'Pert*. Pengujian



dilakukan dengan posisi  $2\theta$   $10^0$  sampai  $90^0$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1.54056 \text{ \AA}$ . Batu kapur yang digunakan berupa konsentrat dan berasal dari Kabupaten Gresik, yang telah diayak dengan ayakan 14 mesh atau  $1.41 \text{ mm}$ . Selanjutnya puncak-puncak dicocokkan dengan kartu dari software PDF-2 Release 2011. Hasil pengujian XRD dari batu kapur dapat dilihat pada Gambar 4.2



**Gambar 4. 2** Hasil pengujian XRD batu kapur

Hasil pengujian XRD yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2 dapat diketahui fasa dominan yang terdapat pada batu kapur adalah dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Kartu JCPDS yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa pada batu kapur adalah 00-011-0078 (dolomit).

Batu kapur memegang peranan dalam menyediakan gas  $\text{CO}_2$  dari reaksi dekomposisi batu kapur dan mengikat pengotor seperti sulfur. Dari hasil pengujian XRD dan XRF yang telah dilakukan, dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) berperan dalam menyediakan  $\text{CO}_2$  melalui reaksi dekomposisi dolomit (2.1). Gas  $\text{CO}_2$  hasil dekomposisi



dolomit berperan dalam menyediakan gas reduktor (CO) melalui reaksi Boudouard (2.9).

#### 4.2 Pengaruh Penambahan Jenis Arang terhadap Kadar Fe dalam Hasil Reduksi

Sampel hasil reduksi yaitu pasir besi yang diuji EDX yaitu pasir yang telah direduksi dengan menggunakan *muffle furnace* dengan variasi sesuai dengan Table 4.7.

**Tabel 4.7** Variabel dalam penelitian

No	Kode Variabel	Jenis Reduktor
1	Briket A	Batu bara
2	Briket B	Arang tempurung Kelapa
3	Briket C	Arang Kayu Laban
4	Briket D	Arang Kayu Asem

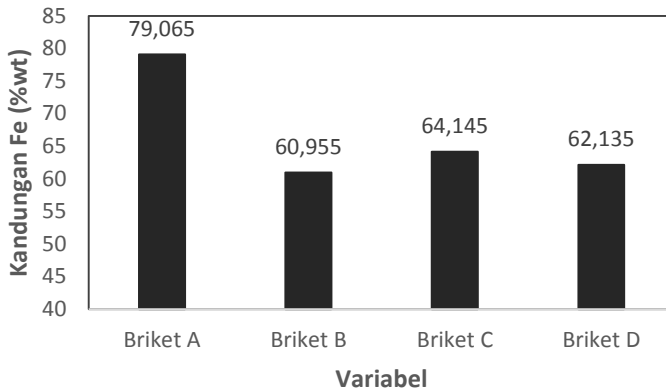
Kadar unsur Fe dari briket hasil reduksi di tiap variable dapat diketahui dengan menggunakan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan di jurusan Teknik material dan Metalurgi ITS. Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Hasil penngujian EDX briket hasil reduksi

Unsur, %Wt	Briket A	Briket B	Briket C	Briket D
Fe	79,0675	60,955	64,145	62,135
Ti	7,6375	6,375	1,84	8,385
Ca	0,6	5,92	2,45	3,75
Si	0,595	2,91	6,355	2,92
Al	1,42	2,445	4,3	2,995
Mg	1,93	1,47	1,795	3,005
O	7,855	23,255	12,535	12,015
C	3,94	4,3	2,94	1,105



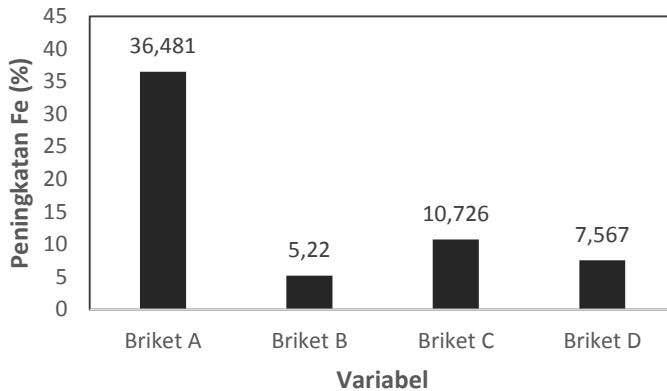
Berdasarkan data pada Tabel 4.8 dapat di Plot pada Grafik pengaruh Jenis arang terhadap Kandungan Fe Total briket, adapun hasil reduksi dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Pengaruh variasi jenis arang terhadap kadar Fe

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa telah terjadi proses reduksi pada Briket. Hal ini dibuktikan dengan naiknya kadar Fe Total. Kenaikan ini dikarenakan tereduksinya fasa Besi Oksida yang terdapat pada bahan Campuran oleh gas CO yang berasal dari Arang dan Batu Kapur sesuai dengan Persamaan 2.4, Persamaan 2.5, dan Persamaan 2.6.

Jika kandungan Fe Total dari briket hasil reduksi dibandingkan dengan kandungan Fe Total awal campuran sebesar 57,931%, maka akan diperoleh Tren peningkatan kadar Fe dalam briket akibat proses Reduksi. Adapun nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Pengaruh jenis arang terhadap kenaikan kadar Fe

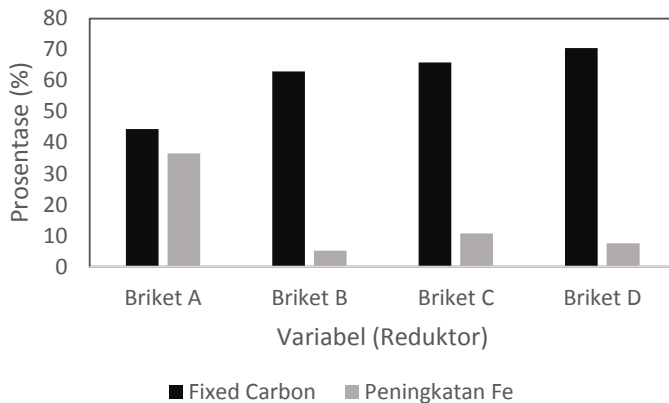
Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa kenaikan kadar Fe tertinggi sebesar 36,481% diperoleh saat menggunakan variabel Briket A yakni menggunakan reduktor batubara. Untuk reduktor arang diperoleh kenaikan Fe tertinggi pada Briket C yakni arang kayu alaban. Sedangkan kenaikan kadar Fe paling rendah sebesar 5,22% diperoleh saat menggunakan variabel Briket B yakni pada Arang tempurung kelapa.

Yan-jun LI dkk Tahun 2010 menyimpulkan bahwa batu bara merupakan reduktor yang baik karena kandungan fixed carbon dan volatile matter yang tinggi, namun mengandung ash, dan low element (S,P) yang rendah. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil yang telah dilakukan yakni pada reduktor batu bara. Dikarenakan kandungan Fe pada batu bara cukup tinggi dibandingkan dengan reduktor arang.

Meskipun Kandungan fixed karbon pada masing masing reduktor berbeda-beda, namun kurang berpengaruh pada proses reduksi. Hal ini dikarenakan komposisi reduktor pada briket pasir besi ditambahkan sesuai dengan perhitungan stoikiometri. Sehingga kandungan fix carbon disesuaikan dengan kebutuhan pada masing masing briket. Batu bara yang memiliki kandungan



fixed karbon rendah, memiliki peningkatan Fe yang paling tinggi yakni sebesar 36,481% dan Arang kayu Asem dengan kandungan fixed carbon yang tinggi memiliki peningkatan Fe yang cukup rendah yakni hanya sebesar 7,567%. Dengan data tersebut, maka dapat dikatakan bahwa kandungan fixed carbon tidak mempengaruhi hasil reduksi briket pasir besi dikarenakan komposisi reduktor disesuaikan dengan kebutuhan.

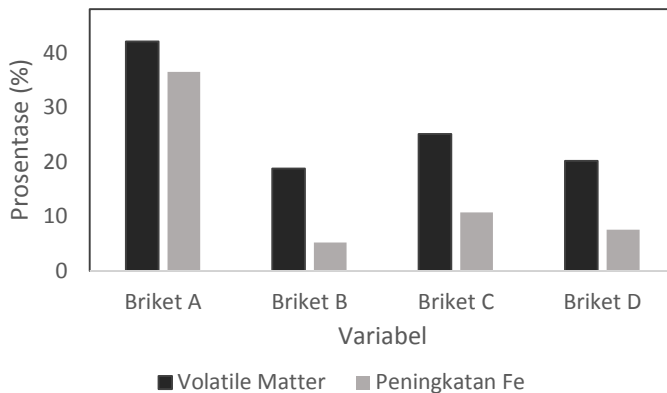


**Gambar 4.5** Perbandingan Fixed carbon terhadap peningkatan Fe

Bila batubara dipanaskan akan terjadi devolatilisasi mulai 300 °C yaitu penguraian batubara menjadi Carbon, tar dan gas ( $H_2$ , CO,  $N_2$ ,  $CxHy$ ). Gas CO dan  $H_2$  yang terbentuk akan mengawali reaksi reduksi. Devolatiliasi terjadi dua tahap yaitu Devolatilisasi primer, yang berlangsung pada temperatur 420° – 460°, pada tahap ini tar dilepas. Yang kedua, Devolatilisasi sekunder, yang berlangsung diatas temperatur 460 °C, pada tahap ini gas ringan dilepas.  $CH_4$  dilepas pada temperatur 450 - 700 °C, sedangkan CO dan  $H_2$  yang dilepas pada temperatur diatas 700 °C akan menjadi sumber reduktor untuk reduksi bijih besi. Pada tahap inilah volatile matter memainkan peranan penting dalam proses reduksi pasir besi

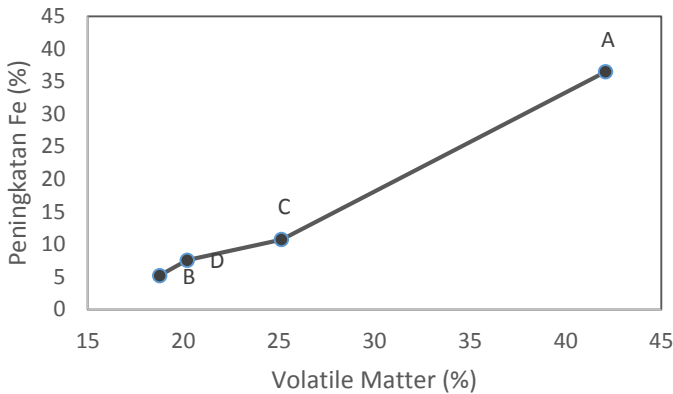


menjadi sponge iron. Dimana volatile matter zat terbang (volatile matter) mempunyai dampak positif terhadap reduksi bijih besi laterit karena CO dan H<sub>2</sub> akan menambah daya reduksi reduktor, baik itu batu bara maupun arang. (Makahanap, 2010)



**Gambar 4.6** Perbandingan kandungan Volatile Matter pada masing masing reduktor

Sehingga dapat disimpulkan bahwa Peningkatan prosesntase Fe yang terbaik ialah saat ditambahkan reduktor dengan kandungan Volatile matter yang tinggi. Dimana apabila Volatile Matter dalam reduktor semakin naik maka peningkatan kadar Fe dalam hasil reduksi juga semakin tinggi. Hal ini dapat dibuktikan melalui kurva berikut ini :

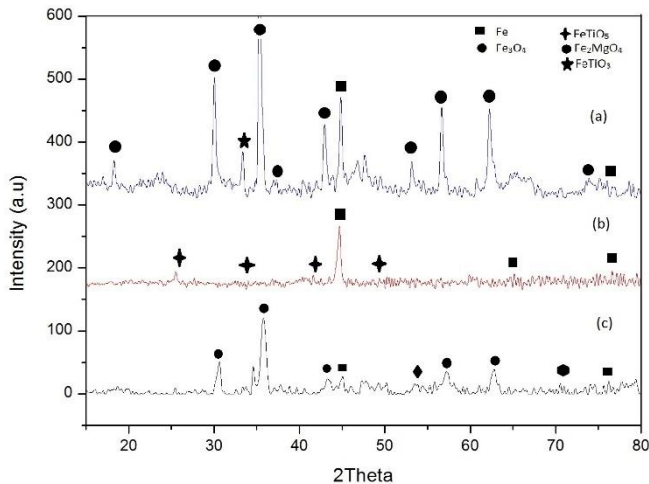


**Gambar 4.7** kurva pengaruh komposisi Volatile Matter terhadap Peningkatan Fe

#### **4.3 Pengaruh Jenis Arang terhadap fasa dalam hasil reduksi**

Identifikasi fasa dari hasil reduksi pasir besi dilakukan menggunakan mesin XRD PANalytical X'Pert. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$   $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1.54056 \text{ \AA}$ . Selanjutnya hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan software Match3. Selanjutnya puncak-puncak dicocokkan dengan kartu dari software PDF-2 Release 2011. Hasil pengujian XRD dari hasil reduksi dapat dilihat pada Gambar 4.8





**Gambar 4.8** Hasil Pengujian XRD (a) briket D (b) briket C (c) briket B

Pada sampel briket B, menunjukkan fasa yang terbentuk adalah fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada puncak  $2\theta$  30,36; 35,77; 57,51; 63,17 dan Fe pada puncak  $2\theta$  45,22. Selain itu terdapat juga pengotor  $\text{FeTiO}_3$  yang ditunjukkan pada puncak  $2\theta$  34,80. Kartu JCPDS yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 96-230-0201 (besi), 96-101-1033 (magnetit) dan 96-152-6275 (ilmenite).

Pada Briket C, fasa yang terbentuk adalah Fasa Fe pada puncak  $2\theta$  44,69; 65,14; 82,39 dan terdapat fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada puncak  $2\theta$  55,92; 62,59. Selain itu terdapat juga fasa  $\text{FeTiO}_5$  pada puncak  $2\theta$  18,10; 25,34. Adapun kartu JCPDS yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa antara lain 00-001-1252 (Besi), 01-072-2303 (magnetit), dan 00-003-0374 (iron ditanium oxide).

Pada sampel briket D, menunjukkan fasa yang terbentuk adalah fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada puncak  $2\theta$  18,28; 30,07; 43,04; 56,91; 62,50 dan Fe pada puncak  $2\theta$  44,77; 82,54. Selain itu terdapat pengotor  $\text{FeTiO}_3$  pada puncak  $2\theta$  33,15. Kartu JCPDS yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 00-001-1262



(besi), 00-001-1111 (magnetit) dan 00-003-0778 (ilmenite).

a) Analisa hasil XRD Briket B (Arang Tempurung kelapa)

Pada hasil pengujian geometri briket B puncak tertingginya adalah fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , yang menunjukkan bahwa reduksi oleh gas CO tidak terjadi secara maksimal. Sehingga reduksi hanya terjadi dari hematit menjadi magnetit, yang harusnya dari hematit menjadi Fe. Penyebab tidak terjadinya reduksi ialah berawal dari kurang maksimalnya produksi gas CO. Dimana gas O sendiri diperoleh dari karbon (C) yang berasal dari arang tempurung kelapa, dan  $\text{CO}_2$  yang berasal dari batu kapur atau dolomit.

Gas karbon yang di peroleh dari devolatilisasi arang tempurung kelapa tidak terdevolatilisasi sempurna dikarenakan kandungan volatile matter yang memegang peranan penting untuk melepas gas Karbon dan  $\text{H}_2$ . Namun, dalam hasil analisa XRD masih terdapat sedikit Fe, hal ini membuktikan bahwa sebagian kecil telah terjadi reduksi dari hematit menjadi Fe. Sehingga kemungkinan bahwa reduksi menjadi Fe metalik terjadi didalam briket, akan tetapi di beberaa bagian dalam briket masih belum optimal (masih berupa Magnetit).

b) Analisa hasil XRD Briket C (Arang Kayu Laban)

Pada hasil pengujian yang ditunjukkan pada gambar 4.8 menunjukkan briket C puncak tertingginya adalah Fe, hal ini menunjukkan bahwa reaksi reduksi terjadi berlangsung optimal. Pada briket dengan reduktor arang laban yang memiliki kandungan fixed karbon yang cukup tinggi serta kandungan volatile matter yang tinggi menyebabkan reduksi Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) menjadi Fe berjalan optimal. Gas CO yang dihasilkan dari Karbon yang terkandung dalam arang kayu laban dan  $\text{CO}_2$  yang terkandung dalam dolomit memiliki jumlah yang cukup banyak. Volatile matter menyebabkan gasifikasi  $\text{H}_2$  dan C dalam Karbon berjalan cepat dikarenakan energinya besar.

Tidak adanya Fasa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan Fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  membuktikan bahwa briket pasir besi sebagian besar telah tereduksi menjadi Fe, dimana awal dr reaksi ialah dari hematit menjadi magnetit, lalu



magnetit menjadi wustit dan wustit menjadi Fe seperti persamaan 2.4, 2.5 dan 2.6. (Sarangi, 2011)

Terdapat juga beberapa pengotor yakni fasa  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$  (iron dititanium oxide). Dimana senyawa ini merupakan senyawa oksidasi antara ilmenit dan Titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ).



Dapat disimpulkan bahwa, berdasarkan data yang diperoleh melalui pengujian XRD dapat diketahui bahwa variasi jenis arang paling optimum untuk briket adalah arang briket C (arang kayu laban) karena memiliki kemampuan reduksi yang paling baik dengan jumlah pengotor yang sedikit.

c) Analisa hasil XRD Briket D (Arang Kayu Asem)

Pada hasil pengujian yang ditunjukkan pada gambar 4.5 menunjukkan briket D puncak tertingginya adalah  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetit) yang menunjukkan bahwa reduksi oksida besi yang terjadi kurang optimal yang disebabkan kurangnya gas CO sebagai reduktor pasir besi.

Tidak adanya fasa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematit) dan FeO (Wustite) menunjukkan bahwa terjadi reduksi yang hanya berlangsung sebagian. Wustit sendiri merupakan fasa yang metastabil dibawah temperatur 570 C. Pada temperatur 560 C terjadi reaksi dekomposisi wustite (A.K Biswas, 1982), reaksi ini dapat dilihat di reaksi 2.1.

Reaksi dekomposisi dari wustite tersebut hanya akan terjadi jika pendinginan yang dilakukan adalah pendinginan yang sangat lambat. Akan tetapi dikarenakan geometri briket yang besar dan tebal, waktu pendinginan yang dibutuhkan mungkin lebih lama. Sehingga dikarenakan pendinginan yang terlalu cepat fasa FeO belum sempat terdekomposisi.

Fasa Fe pada puncak kedua hasil XRD briket ini menunjukkan bahwa juga terjadi reaksi reduksi oksida besi yang sempurna (seluruh oksida tereduksi) akan tetapi mungkin hanya di beberapa titik saja.



Fasa  $\text{FeTiO}_3$  (ilmenit) yang ditunjukkan menandakan bahwa tidak terjadi reduksi senyawa ilmenit dikarenakan dibutuhkan energi yang lebih besar untuk memutuskan senyawa ini.

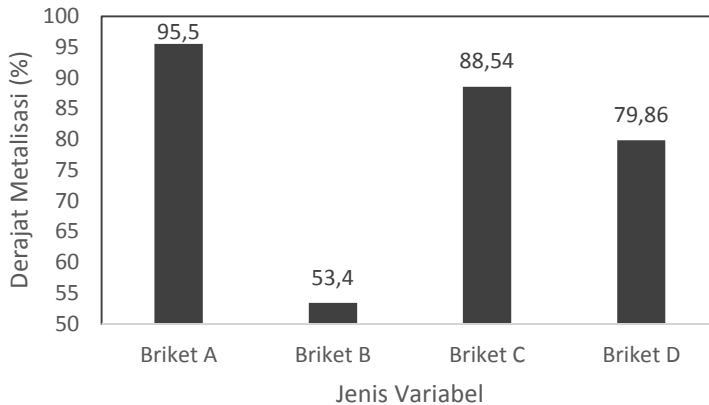
#### 4.4 Pengaruh Jenis Arang terhadap derajat metalisasi hasil reduksi

Derajat metalisasi adalah rasio antara Fe metalik yang terbentuk dan Fe total yang ada di dalam briket hasil reduksi. Untuk mengetahui derajat metalisasi dilakukan pengujian penentuan besi metalik dengan metode besi klorida. Standar yang digunakan dalam uji derajat metalisasi adalah IS 15774: 2007. Hasil pengujian metalisasi dapat dilihat pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Perbandingan Derajat Metalisasi

No.	Jenis Briket	a	Fe Total	Derajat Metalisasi
1	Briket A		79,0675	95,5
2	Briket B		50,085	53,4
3	Briket C		64,145	88,54
4	Briket D		62,135	79,86

Pengaruh Jenis arang terhadap derajat metalisasi dapat dilihat pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Grafik Derajat Metalisasi masing-masing briket

a) Analisa Derajat metalisasi briket B

Pada jenis arang briket B, derajat metalisasi masih rendah (70 %). Derajat metalisasi hasil reduksi pada briket ini masih rendah dikarenakan masih terdapat fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang masih dominan (dari hasil XRD puncak tertinggi adalah  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada hasil reduksi briket tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa reduksi gas  $\text{CO}$  yang terjadi masih belum maksimal dikarenakan devolatilisasi atau pembentukan gas  $\text{H}_2$  dan  $\text{C}$  kurang signifikan. Sehingga pembentukan gas  $\text{CO}$  yang digunakan untuk mereduksi hematit jumlah yang dibutuhkan jauh dari cukup.

Fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang dominan ini sebenarnya bisa berdekomposisi menjadi  $\text{Fe}$  dan  $\text{FeO}$  jika dilakukan pendinginan dalam waktu yang lebih lama sehingga ada kemungkinan derajat metalisasinya juga bisa meningkat karena kadar  $\text{Fe}$  metal akan meningkat juga.

b) Analisa Derajat metalisasi briket C

Pada jenis arang kayu laban briket C ini, derajat metalisasinya paling tinggi, hal ini dibuktikan juga dari hasil XRD



menunjukkan bahwa fase yang puncaknya paling tinggi adalah Fe menunjukkan difusi gas CO yang mereduksi besi oksida berjalan optimal. Hal ini dikarenakan jumlah gas CO yang dihasilkan cukup signifikan sehingga mampu mereduksi besi oksida. Banyaknya jumlah CO diakibatkan oleh jumlah karbon dari arang kayu laban yang terdevolatilisasi dan CO<sub>2</sub> dari batu kapur berjalan cepat. Hal ini dikarenakan tingginya kandungan Volatile matter pada arang laban.

Difusi gas CO yang mereduksi besi oksida didalam briket yang optimal ini membuat reduksi besi oksida menjadi Fe metalik

berlangsung maksimal. Walaupun masih terdapat fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> pada hasil reduksi, kemungkinan jumlahnya kecil sehingga rasio antara Fe metal dan Fe oksida masih didominasi oleh Fe metal.

Dapat disimpulkan bahwa berdasarkan data pengujian derajat metalisasi dapat diketahui bahwa variasi jenis arang yang paling optimum untuk briket adalah arang kayu laban pada briket C.

#### c) Analisa Derajat metalisasi briket D

Pada jenis arang kayu asem briket B, derajat metalisasi cukup rendah (79.28%), hal ini dibuktikan juga dari hasil XRD menunjukkan bahwa fase yang puncaknya paling tinggi adalah Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang menunjukkan reduksi yang terjadi kurang optimal.

Pada arang kayu asem yang memiliki volatile matter yang cukup rendah membuat devolatilisasi gas carbon, dan hidrogen berjalan lambat. Hal ini dikarenakan energi yang dimiliki oleh kandungan volatile matter yang rendah membuat energi yang dihasilkan juga cukup rendah untuk meisahkan gas karbon dan H<sub>2</sub>. Sehingga terbentuknya gas CO sebagai reduktor besi oksida jumlahnya cukup sedikit dan sulit untuk mereduksi keseluruhan besi oksida.

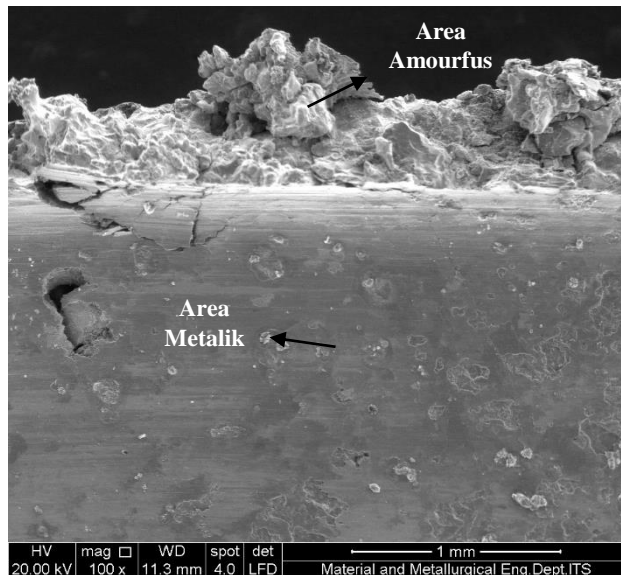
Pada dasarnya hanya sebagian kecil dari besi oksida yang tereduksi. Hal ini dibuktikan dengan adanya peak Fe meskipun cukup rendah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa besi metalik



yang dihasilkan oleh arang kayu asem cukup rendah karena hanya sebagian besi metalik yang tereduksi.

#### 4.5 Analisa morfologi Briket hasil reduksi

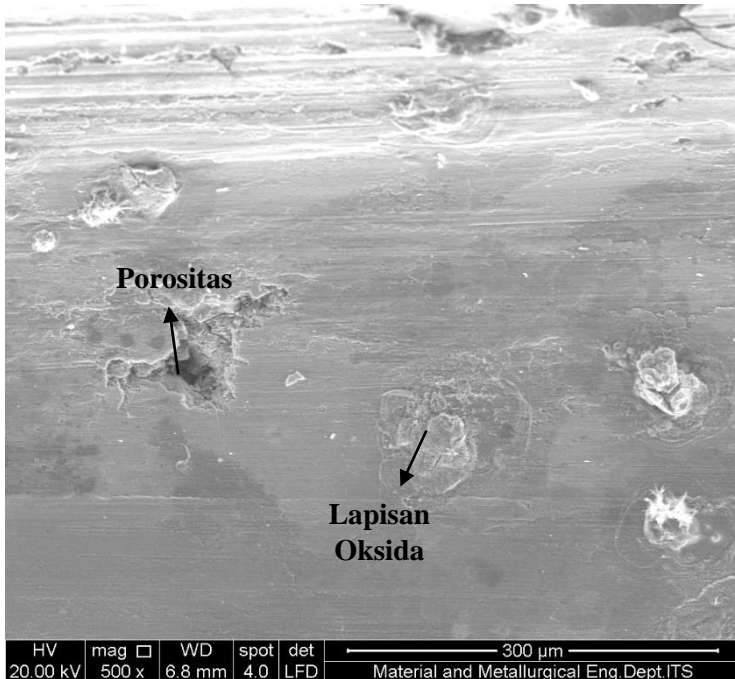
Dalam penelitian ini, dilakukan analisa morfologi pada briket hasil reduksi. Dimana telah dilakukan uji SEM (Scanning Electron Microscopy) terhadap sampel briket hasil reduksi milik Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pada hasil pegujian SEM didapatkan data struktur morfologi dari sampel hasil reduksi seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 4.10** Morfologi Permukaan Briket Arang tempurung Kelapa dengan Perbesaran 100x

Pada Gambar 4.10 terlihat adanya area metalik dan area amourfus. Dimana area metalik terbentuk lebih luas daripada area amourfus. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reduksi besi oksida sehingga telah terbentuk besi metalik. Sedangkan pada area amourfus terlihat adanya beberapa partikel yang tidak berikatan dengan baik. Hal ini disebabkan kurang optimalnya reduksi secara

merata yang diakibatkan kekurangan gas CO sebagai reduktor besi oksida.

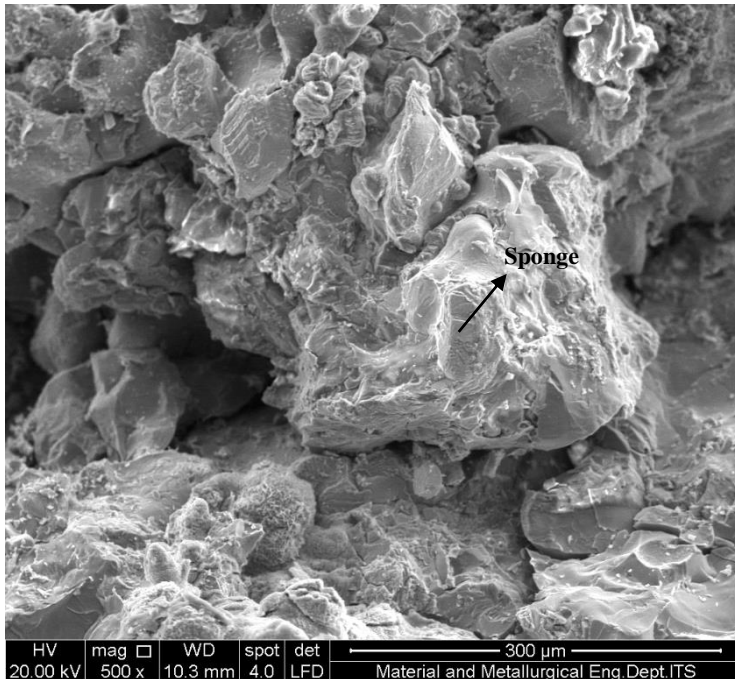


**Gambar 4.11** Morfologi permukaan area metalik pada reduksi arang tempurung kelapa.

Pada Gambar 4.11 menunjukkan sebagian besar telah terbentuk besi metalik. Partikel partikel besi oksida mampu meleleh dengan baik dan terdistribusi secara merata hampir di seluruh area besi metalik. Hal ini dikarenakan briket hasil reduksi secara keseluruhan berjalan secara optimal. Namun, terdapat porositas yang terbentuk di beberapa area. Hal ini disebabkan karna pemberian tekanan pada saat proses kompaksi tidak maksimal sehingga terbentuk rongga antar partikel. Selain itu, juga terbentuk lapisan oksida di beberapa area. Hal ini disebabkan karna senyawa pada besi metalik cukup reaktif terhadap lingkungan



sehingga apabila diamati secara visual beberapa area pada permukaan area besi metalik telah terkorosi.



**Gambar 4.12** morfologi area amoufus pada reduksi arang tempurung Kelapa

Area	%C	%O	%Mg	%Al
	5,22	20,12	1,29	1,82
Sponge	%Ca	%Ti	%Fe	%Si
	5,44	6,45	60,065	2,03

Pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa adanya partikel partikel besi oksida yang tidak berikatan dengan baik dan membentuk besi metalik. Hal ini dikarenakan (tanya mas abdul ttg besi metalik). Selain itu, pada gambar 4.12 terbentuk area sponge



dimana dapat ditentukan melalui mapping EDX. Hal ini disebabkan oleh peningkatan Fe sebesar 5,22%.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi jenis arang yang paling baik tereduksi adalah briket C (arang kayu laban) dibandingkan briket B dengan jenis arang kelapa dan briket D dengan jenis arang kayu asem.
2. Dalam penelitian yang dilakukan, kadar Fe tertinggi pada hasil reduksi adalah briket C dengan kadar Fe total sebesar 64,145%. Dan kadar Fe terendah ialah briket B dengan kadar Fe total sebesar 60%
3. Derajat metalisasi tertinggi ialah pada briket C sebesar 88,54% dibandingkan briket B sebesar 53,4% dan briket C sebesar 79,86%

#### **5.2 Saran**

Untuk penelitian selanjutnya mengenai proses pembuatan *sponge iron* dengan variabel yang lain beberapa saran antara lain.

1. Dilakukan penelitian dengan penambahan 20-40% arang kayu laban.
2. Dilakukan penelitian dengan inner coal arang kayu laban



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Anhar, A. B. (2015). Studi pengaruh variasi Komposisi Batu bara dan Batu kapur pada briket Pasir Besi Terhadap Kandungan Fe total dan Fe metalisasi. *Tugas Akhir* , 2-30.
- Association, W. C. (2015). *Coal Facts 2015*. London: World Coal Association.
- Association, W. S. (2014). *Steel Statistical Yearbook 2014*. Brussels: Worldsteel Committee on Economics Studies.
- Batubara, D. J. (2011). *Warta Minerba*. Jakarta: Dirjen Mineral dan Batubara.
- Billah, A. (2006). Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Stronsium Ferit dengan Bahan Dasar Pasir Besi. *Skripsi Jurusan Fisika UNS*, 6-15.
- Febriana, E. (2011). Kalsinasi Dolomit Lamongan untuk Pembuatan Kalsium Magnesium Oksida Sebagai Bahan Baku Kalsium dan Magnesium Karbonat Presipitat. *Fakultas Teknik Program Ekstensi Teknik Kimia*, 6-11.
- Herianto, E. (2008). Besi Nugget dari Pasir Besi Indonesia Sebagai Material Logam Dasar. *Pusat Penelitian Metalurgi*, 1-10.
- Hidayatullah, A. B. (2016). Studi variasi geometri briket pada Campuran Bijih Besi dan Pasir Besi Terhadap kandungan derajat metalisasi dan Fe mEtalisasi. *tugas akhir material metalurg ITS*, 2-40.

- Ismail, I., & Pintowantoro, S. (2012). Studi Pengaruh Daya dan Lama Radiasi dari Gelombang Mikro terhadap Proses Reduksi Pasir Besi dengan Reduktor Arang . *POMITS*, 1-7.
- J, H. D. (1993). *Limestone*. Nottingham: Industrial Minerals Laboratory Manual.
- Jun LI, Y., & Sheng Hun, Y. (2013). Coal-based reduction mechanism of low-grade laterite ore. *Sciencedirect*, 3429.
- Khattoi, S. C., & Roy, G. G. (2010). Sponge Iron Production From Ore Coal Composite Pellets in Tunnel Kiln. *Project Engineering Consultancy*, 1-20.
- Kumar, S., & Barun, M. (2008). Kinetics of iron ore Reduction by Coal and Charcoal. *Metalurgical engineering*, 2-20.
- Makahanap, B., & Manaf, A. (2010). Karakteristik Reduksi Bijih Laterit. *LIPI*, 113-115.
- Mineral, K. E. (2013). *Kajian Supply Demand Mineral*. Jakarta: Pusat Data dan Teknologi Informasi ESDM.
- Mohapatra, B., & Patra, D. (2009). Study of Reduction Behaviour of Iron Ore Lumps. *Metalurgical and Materials Engineering*, 2-30.
- Nukman, & Kmaludin, A. (2011). Pengukuran Temperatur Bahan Bakar Arang Kayu, Arang Batok Kelapa dan Batubara pada Tuyer dengan Supply Oksigen dari Blower. *Majalah Ilmiah Sriwijaya*, 648-654.
- Nurjito, & Leman S, A. (2008). Campuran Arang Tempurung Kelapa Bekas dan Arang Tempurung Kelapa Baru

- untuk Media Karburasi Baja Karbon Rendah. *Program Studi Teknik Mesin UNY*, 2-9.
- Pangestu, A. (2016). Studi variasi geometri briket pada Campuran Bijih Besi dan Pasir Besi Terhadap kandungan Fe total dan Fe mEtalisasi. *Tugas Akhir mAterial metalurgi ITS*, 2-30.
- Patnaik, N. K. (2009). *Sponge Iron Manufacturer*. New Delhi: SIMA DRI Update.
- Perkebunan, D. J. (2014). *Kelapa*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Rasyidi, M. I. (2015). STUDI PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BATU BARA PADA PROSES PEMBRIKETAN NIKEL LATERIT TERHADAP DERAJAT REDUKSI DAN KEKUATAN TEKAN PADA MINI BLAST FURNACE. *Tugas Akhir material Metalurgi ITS*, 2-30.
- Sen, R., Satender, D., Pandel, U., & Banerjee, M. K. (2015). Utilization of Low Grade Coal for Direct Reduction Mill Scale to Obtain Sponge Iron: Effect of Reduction Time and Particle Size. *Global Challenge*, 2-15.
- soesaptri , o., willyandhika, k., & Suharto. (2016). THE EFFECT OF REDUCTION TIME AND SIZE DISTRIBUTION OF MIXED IRON ORE WITH COCONUT SHELL CHARCOAL ON THE PERCENTAGE OF METALLIZATION BY USING A ROTARY KILN. *International Journal of Technology*, 1-10.



- Sun, S. S. (1997). *A Study of Kinetics and Mechanism of Iron Ore Reduction in Ore/Coal Composites*. Canada: Biblioteque nationale du canada.
- Trent, V., Medlin , J., & Coleman, L. (1982). *Chemical Analyses and Physical Properties of 12 Coal Samples from the Pochantonas Field, Tazewell County, Virginia*. Washington: Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Yong II, L. (2011). Effect coal levels During direct reduction Iron. *ELSEVIER*, 324.

## LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN STOIKIOMETRI BRIKET PASIR BESI

### 1. Pasir Besi

Dari data pengujian XRD, diperoleh presentase berat masing masing senyawa yang terkandung dalam pasir besi yang diperoleh dari Sukabumi, Jawa Barat. Dengan basis perhitungan 1000 gr.

Tabel Hasil Uji XRD Pasir Besi

No	Senyawa	Presentase %
1	$\text{Fe}_3\text{O}_4$ (Magnetit)	46,06569
2	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Maghemit)	16,33
3	$\text{FeTiO}_3$ (Ilmenite)	21,273
4	Impuritis	16,24

### 2. Batu Bara

Dari data pengujian *Proximate Analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi sebesar 42,35

### 3. Arang

Dari data pengujian *Proximate Analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi fixed carbon dari :

Tabel Fixed Carbon pada arang

No	Jenis arang	Fixed Carbon (%)
1	Tempurung Kelapa	62,96
2	Kayu laban	65,86
3	Kayu asem	70,46

### 4. Batu Kapur (Dolomit)

Dari data Pengujian XRF, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam batu kapur yang diperoleh dari Gresik, Jawa Timur.

Tabel hasil XRF batu kapur

Parameter	Ca	Mg	Si	Fe	S	Al
%Wt	18.082	13.742	0.546	0.072	0.004	0.001

## Perhitungan Neraca massa Briket Pasir Besi dengan reduktor batu bara

Dari kadar presentase  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Magnetit),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Maghemit),  $\text{FeTiO}_3$  (Ilmenite) hasil uji XRD dalam pasir besi. Jika diasumsikan dalam setiap briket pillow pasir besi terdapat 1000 gr ore pasir besi maka,

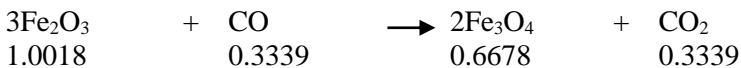
$$\text{Fe}_3\text{O}_4 = 460,65 \text{ gr} \gg 1,9855 \text{ mol}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 163,3 \text{ gr} \gg 1,0018 \text{ mol}$$

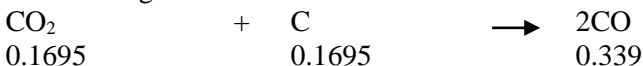
$$\text{FeTiO}_3 = 212,73 \gg 1,4004 \text{ mol}$$

### 1. Reaksi Reduksi $\text{Fe}_2\text{O}_3$

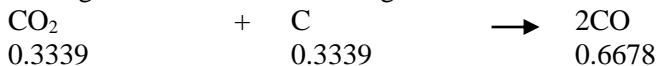
#### a. Reaksi 1



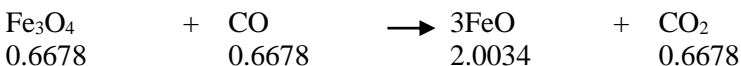
$\text{CO}_2$  Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara.



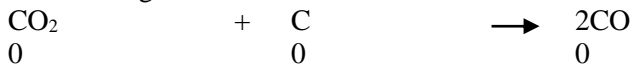
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C batu bara



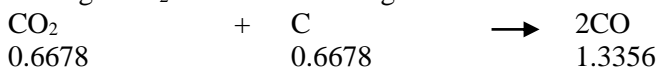
#### b. Reaksi 2



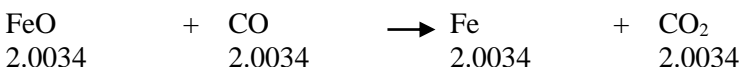
$\text{CO}_2$  Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara.



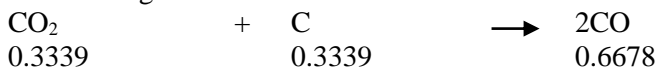
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C batu bara



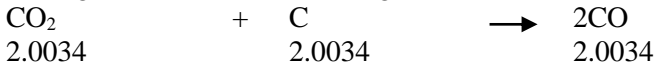
#### c. Reaksi 3



$\text{CO}_2$  Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara.

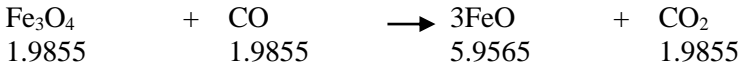


Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C batu bara

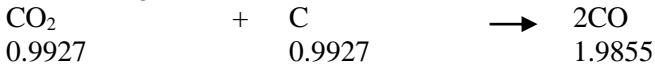


## 2. Reaksi Reduksi $\text{Fe}_3\text{O}_4$

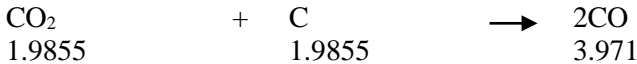
a. Reaksi 1



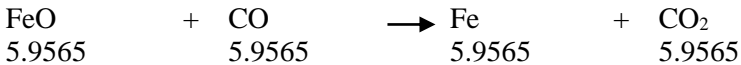
$\text{CO}_2$  Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara.



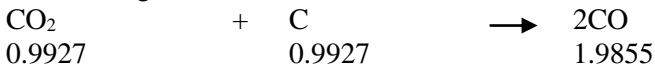
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C batu bara



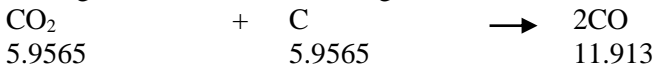
b. Reaksi 2



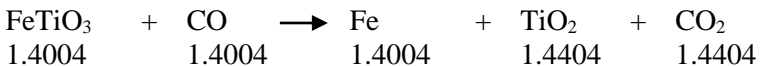
$\text{CO}_2$  Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara.



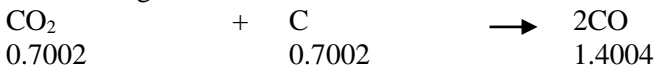
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C batu bara



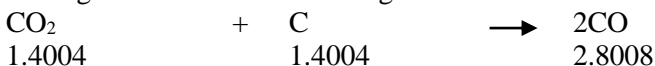
3. Reaksi Reduksi  $\text{FeTiO}_3$



$\text{CO}_2$  Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara.



Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C batu bara



### Perhitungan Kebutuhan Batubara

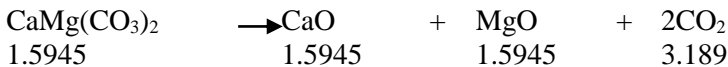
$$\text{Total mol C} = 0.1695 + 0.3339 + 0 + 0.6678 + 0.3339 + 2.0034 + 0.9927 + 1.9855 + 0.9927 + 5.9565 + 0.7002 + 1.4004 = 15.5365$$

$$\begin{aligned}\text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 15.5365 \times 12 = 186.438 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{1}{42,35 \%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{1}{42,35 \%} \times 254.3388 \\ &= 440.231045 \text{ gram}\end{aligned}$$

### Perhitungan Kebutuhan kapur

$$\text{Total CO}_2 \text{ yang dibutuhkan} = 0.1695 + 0 + 0.3339 + 0.9927 + 0.9927 + 0.7002 = 3.1$$



$$\begin{aligned}\text{Massa dolomit} &= \text{mol CaMg(CO}_3)_2 \times \text{Mr CaMg(CO}_3)_2 \\ &= 3.189 \times 184.3935 = 588.0308715\end{aligned}$$

Jadi perbandingan basis pasir besi: batu bara : batu kapur ialah  
1000 : 440,23 : 588,03.

Atau 2 : 1 : 1,1

### **Perhitungan Neraca massa Briket Pasir Besi dengan reduktor Arang Tempurung Kelapa**

Dari kadar presentase  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Magnetit),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Maghemit),  $\text{FeTiO}_3$  (Ilmenite) hasil uji XRD dalam pasir besi. Jika diasumsikan dalam setiap briket pillow pasir besi terdapat 1000 gr ore pasir besi maka,

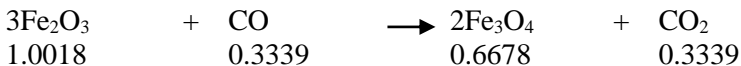
$$\text{Fe}_3\text{O}_4 = 460,65 \text{ gr} \gg 1,9855 \text{ mol}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 163,3 \text{ gr} \gg 1,0018 \text{ mol}$$

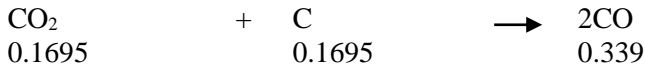
$$\text{FeTiO}_3 = 212,73 \gg 1,4004 \text{ mol}$$

#### **1. Reaksi Reduksi $\text{Fe}_2\text{O}_3$**

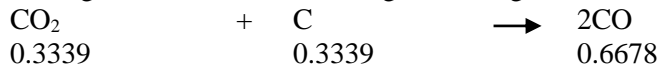
##### **a. Reaksi 1**



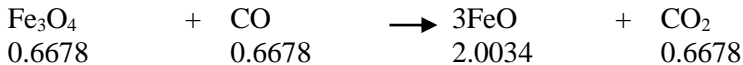
$\text{CO}_2$  Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.



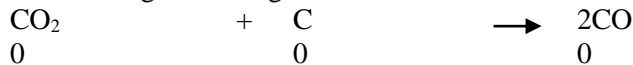
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C arang



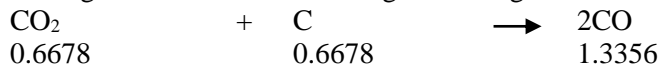
b. Reaksi 2



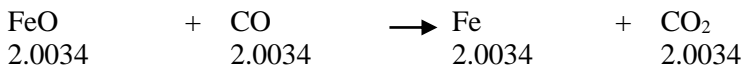
$\text{CO}_2$  Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.



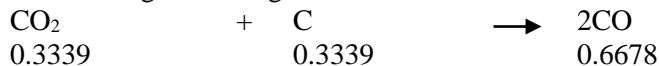
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C arang



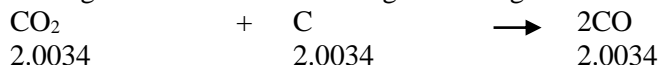
c. Reaksi 3



$\text{CO}_2$  Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.

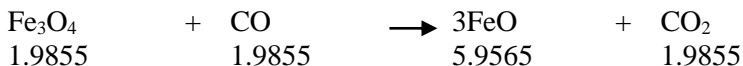


Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C arang

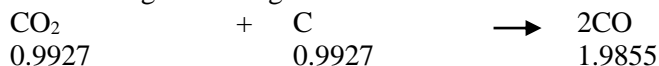


## b. Reaksi Reduksi $\text{Fe}_3\text{O}_4$

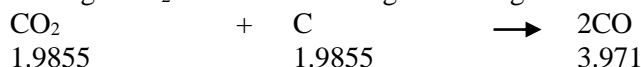
d. Reaksi 1



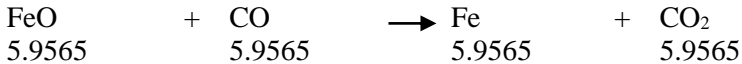
$\text{CO}_2$  Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.



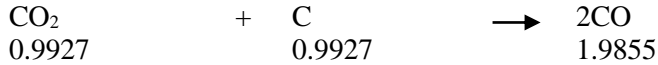
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C arang



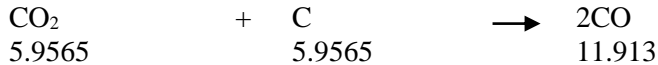
e. Reaksi 2



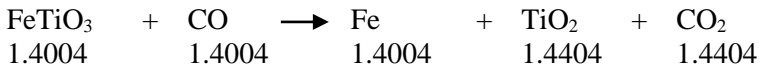
CO<sub>2</sub> Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 1 dengan C arang



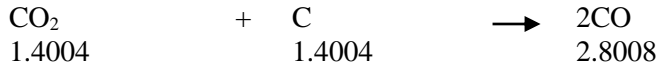
f. Reaksi Reduksi FeTiO<sub>3</sub>



CO<sub>2</sub> Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 1 dengan C arang



Perhitungan Kebutuhan arang tempurung kelapa

$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 0.1695 + 0.3339 + 0 + 0.6678 + 0.3339 + 2.0034 + \\ &\quad 0.9927 + 1.9855 + 0.9927 + 5.9565 + 0.7002 + \\ &\quad 1.4004 = 15.5365 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 15.5365 \times 12 = 186.438 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa arang yang dibutuhkan} &= \frac{1}{62,96 \%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{1}{62,96 \%} \times 254.3388 \\ &= 404,11 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan Kebutuhan arang kayu laban

$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 0.1695 + 0.3339 + 0 + 0.6678 + 0.3339 + 2.0034 + \\ &\quad 0.9927 + 1.9855 + 0.9927 + 5.9565 + 0.7002 + \\ &\quad 1.4004 = 15.5365 \end{aligned}$$

$$\text{Massa C yang dibutuhkan} = \text{total mol C} \times \text{Ar C}$$

$$= 15.5365 \times 12 = 186.438 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa arang yang dibutuhkan} &= \frac{1}{65,86 \%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{1}{65,86 \%} \times 254.3388 \\ &= 386,18 \text{ gram} \end{aligned}$$

#### Perhitungan Kebutuhan arang kayu asem

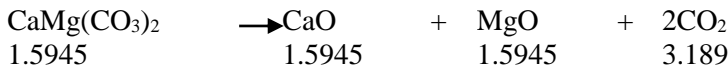
$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 0.1695 + 0.3339 + 0 + 0.6678 + 0.3339 + 2.0034 + \\ &\quad 0.9927 + 1.9855 + 0.9927 + 5.9565 + 0.7002 + \\ &\quad 1.4004 = 15.5365 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 15.5365 \times 12 = 186.438 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa arang yang dibutuhkan} &= \frac{1}{70,46 \%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{1}{70,46 \%} \times 254.3388 \\ &= 360,969 \text{ gram} \end{aligned}$$

#### Perhitungan Kebutuhan kapur

$$\begin{aligned} \text{Total CO}_2 \text{ yang dibutuhkan} &= 0.1695 + 0 + 0.3339 + 0.9927 + \\ &\quad 0.9927 + 0.7002 = 3.1 \end{aligned}$$



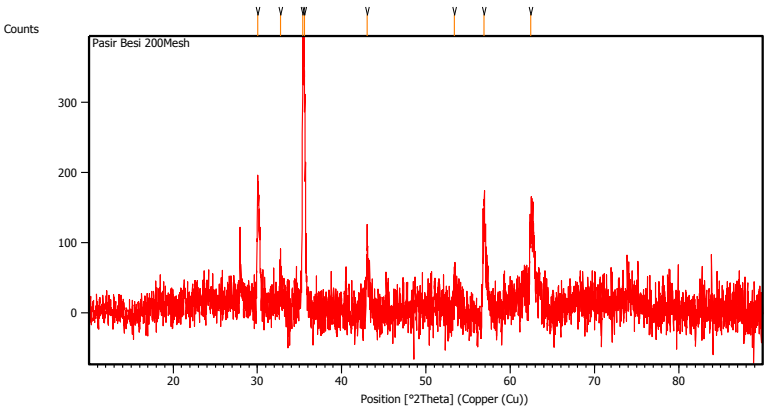
$$\begin{aligned} \text{Massa dolomit} &= \text{mol CaMg(CO}_3)_2 \times \text{Mr CaMg(CO}_3)_2 \\ &= 3.189 \times 184.3935 = 588.0308715 \end{aligned}$$

Namun, massa dolomit yang digunakan dalam penelitian ini ialah 300 gr merujuk pada hasil penelitian oleh Ashid Tahun 2015 dimana batu kapur pada rasio 0,3% dr berat total ore sangat optimal dalam reduksi pasir besi. Jadi perbandingan basis pasir besi: arang : batu kapur dapat dilihat tabel di bawah ini:

Tabel perbandingan basis basis pasir besi: arang : batu kapur				
No	Jenis arang	Pasir besi	arang	Batu kapur
1	Tempurung Kelapa	1000	404,11	300
2	Kayu laban	1000	386,18	300
3	Kayu asem	1000	360,969	300



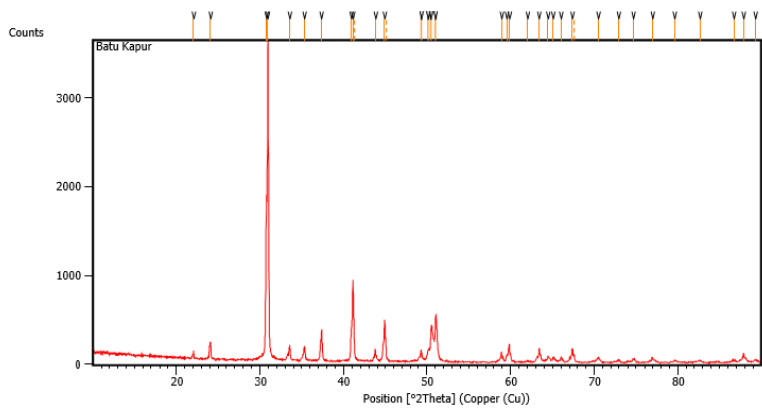
**LAMPIRAN 2 HASIL UJI XRD**  
**HASIL UJI XRD PASIR BESI**



**Peak List:**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.0555	173.35	0.1673	2.97329	44.21
32.7505	53.88	0.2007	2.73452	13.74
35.3866	392.13	0.0669	2.53663	100.00
35.5731	330.12	0.1673	2.52376	84.19
43.0173	98.12	0.2676	2.10270	25.02
53.3979	42.55	0.3346	1.71585	10.85
56.9104	153.59	0.2676	1.61801	39.17
62.4581	98.51	0.4015	1.48697	25.12

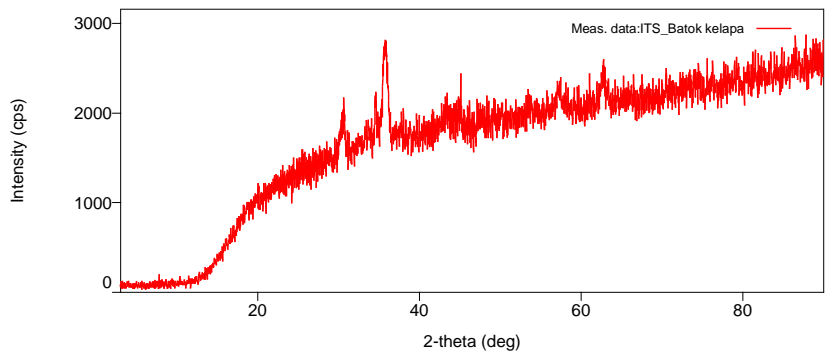
HASIL Uji XRD BATU KAPUR



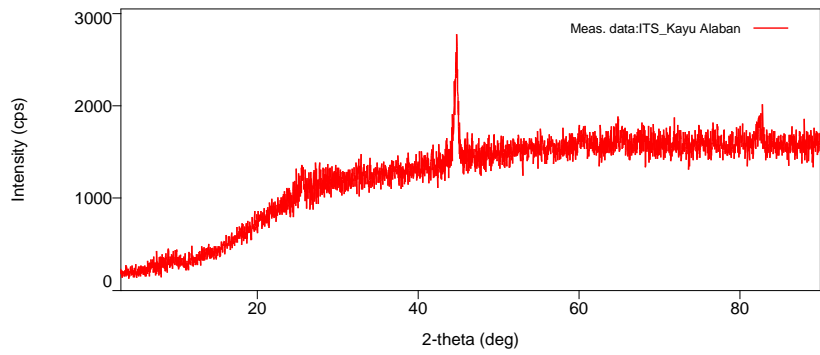
**Peak List:**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.0550	73.23	0.0669	4.03040	2.03
24.0961	161.29	0.1004	3.69343	4.47
30.7582	1687.90	0.1004	2.90695	46.75
30.9449	3610.70	0.1004	2.88984	100.00
33.5597	129.23	0.1673	2.67042	3.58
35.3255	156.43	0.1004	2.54088	4.33
37.3633	330.77	0.0669	2.40685	9.16
40.8910	285.95	0.1004	2.20699	7.92
41.1275	917.37	0.1020	2.19303	25.41
41.2581	371.23	0.0612	2.19182	10.28
43.7981	121.38	0.1224	2.06530	3.36
44.9393	460.15	0.1224	2.01547	12.74
45.0573	228.55	0.0612	2.01546	6.33
49.2930	111.62	0.0816	1.84716	3.09
50.1110	131.89	0.2040	1.81891	3.65
50.4740	333.92	0.1632	1.80667	9.25
51.0180	496.42	0.1428	1.78868	13.75

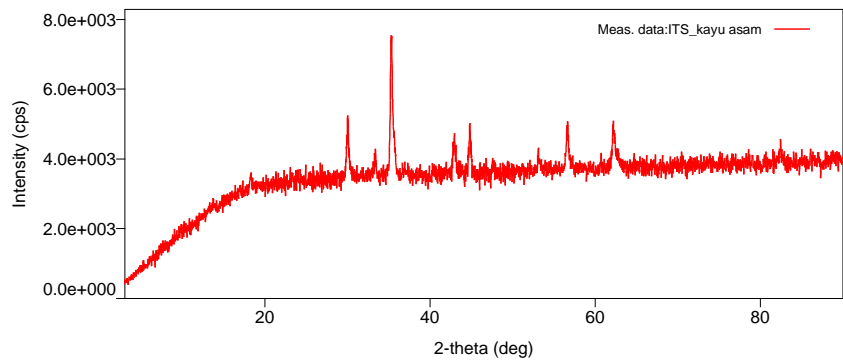
HASIL XRD BRIKET B



HASIL XRD BRIKET C



HASIL XRD BRIKET D



## LAMPIRAN 3 REFERENSI PDF CARD

### Iron (Fe)

Reference code: 00-001-1262

Compound name: Iron

Empirical formula: Fe

Chemical formula: Fe

### Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

Space group: Im-3m

Space group number: 229

a (Å): 2.8570

b (Å): 2.8570

c (Å): 2.8570

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 7.93

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 23.32

Z: 2.00

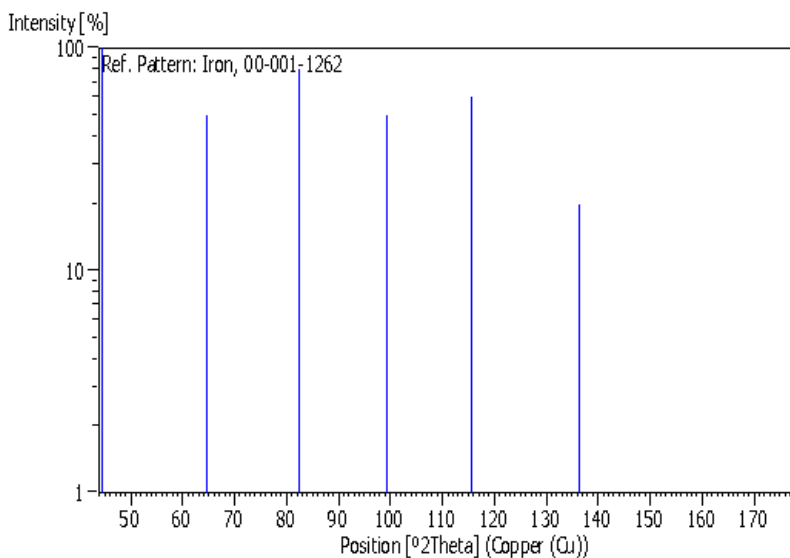
RIR: -

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.03000	44.600	100.0
2	2	0	0	1.44000	64.678	50.0
3	2	1	1	1.17000	82.352	80.0
4	2	2	0	1.01000	99.401	50.0

5	3	1	0	0.91000	115.662	60.0
6	2	2	2	0.83000	136.273	20.0
7	3	2	1	0.76000		60.0
8	4	1	1	0.67000		30.0
9	4	2	0	0.64000		20.0
10	3	3	2	0.61000		20.0
11	4	2	2	0.58000		20.0

## **Stick Pattern**



## **Magnetit ( $Fe_3O_4$ )**

Reference code: 00-001-1111

Mineral name: Magnetite  
Compound name: Iron Oxide

Empirical formula:  $Fe_3O_4$

Chemical formula:  $Fe_3O_4$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: Fd-3m  
Space group number: 227

a (Å): 8.3740  
b (Å): 8.3740  
c (Å): 8.3740  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 90.0000

Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 5.18  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 587.22  
Z: 8.00

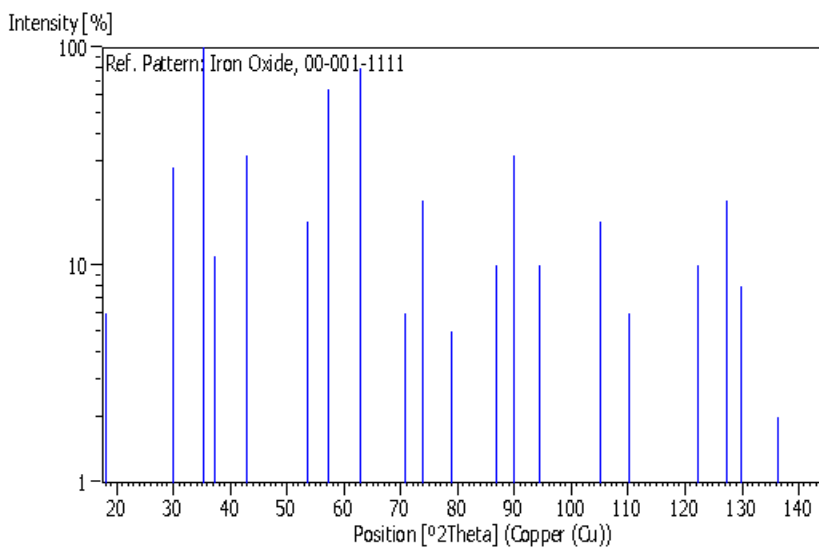
RIR: -

## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.85000	18.277	6.0
2	2	2	0	2.97000	30.064	28.0
3	3	1	1	2.53000	35.452	100.0
4	2	2	2	2.42000	37.121	11.0
5	4	0	0	2.10000	43.038	32.0
6	4	2	2	1.71000	53.547	16.0
7	5	1	1	1.61000	57.168	64.0
8	4	4	0	1.48000	62.728	80.0
9	6	2	0	1.33000	70.785	6.0
10	5	3	3	1.28000	73.997	20.0
11	4	4	4	1.21000	79.079	5.0
12	6	4	2	1.12000	86.907	10.0
13	7	3	1	1.09000	89.934	32.0
14	8	0	0	1.05000	94.381	10.0
15	7	5	1	0.97000	105.145	16.0
16	8	4	0	0.94000	110.063	6.0
17	9	3	1	0.88000	122.171	10.0

18	8	4	4	0.86000	127.196	20.0
19				0.85000	129.980	8.0
20				0.83000	136.273	2.0
21	9	5	1	0.81000	143.974	10.0

## Stick Pattern



## Ilmenite (FeTiO<sub>3</sub>)

Reference code:	00-003-0778
Mineral name:	Ilmenite
Compound name:	Iron Titanium Oxide
Empirical formula:	FeO <sub>3</sub> Ti
Chemical formula:	Fe <sub>+2</sub> TiO <sub>3</sub>

## Crystallographic parameters



Crystal system:	Rhombohedral
Space group:	R-3
Space group number:	148

a (Å):	5.0830
b (Å):	5.0830
c (Å):	14.0400
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	120.0000

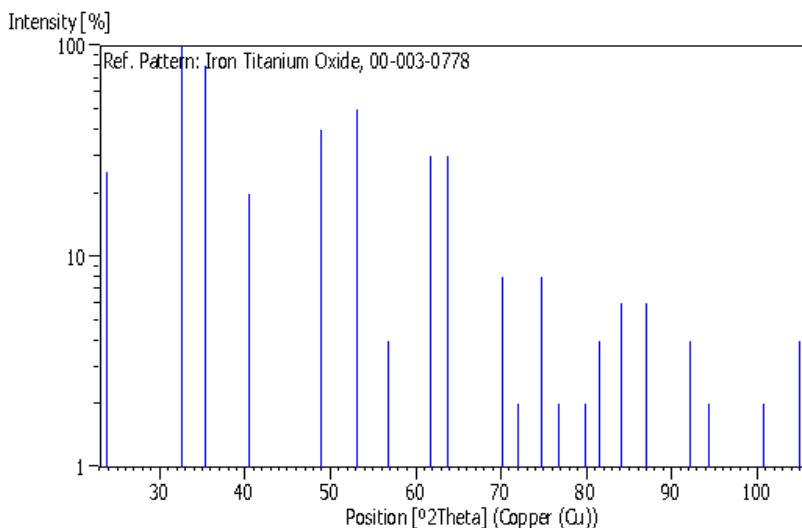
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	4.79
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	4.72
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	314.15

RIR:	-
------	---

## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3.72000	23.901	25.0
2	1	0	4	2.74000	32.655	100.0
3	1	1	0	2.54000	35.308	80.0
4	1	1	3	2.23000	40.416	20.0
5	0	2	4	1.86000	48.930	40.0
6	1	1	6	1.72000	53.212	50.0
7	1	2	2	1.62000	56.783	4.0
8	2	1	4	1.50000	61.799	30.0
9	3	0	0	1.46000	63.687	30.0
10	1	0	10	1.34000	70.178	8.0
11	1	1	9	1.31000	72.033	2.0
12	2	2	0	1.27000	74.679	8.0
13	3	0	6	1.24000	76.809	2.0
14	3	1	2	1.20000	79.870	2.0
15	0	2	10	1.18000	81.506	4.0
16	1	3	4	1.15000	84.107	6.0
17	3	1	5	1.12000	86.907	6.0
18	3	0	9	1.07000	92.094	4.0
19	4	0	4	1.05000	94.381	2.0
20	2	3	2	1.00000	100.762	2.0
21	3	2	4	0.97100	104.991	4.0

## **Stick Pattern**



## **Iron (Fe)**

Reference code: 00-001-1252

Compound name: Iron

Empirical formula: Fe

Chemical formula: Fe

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic

Space group: Im-3m

Space group number: 229

a (Å): 2.8600

b (Å):	2.8600
c (Å):	2.8600
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000

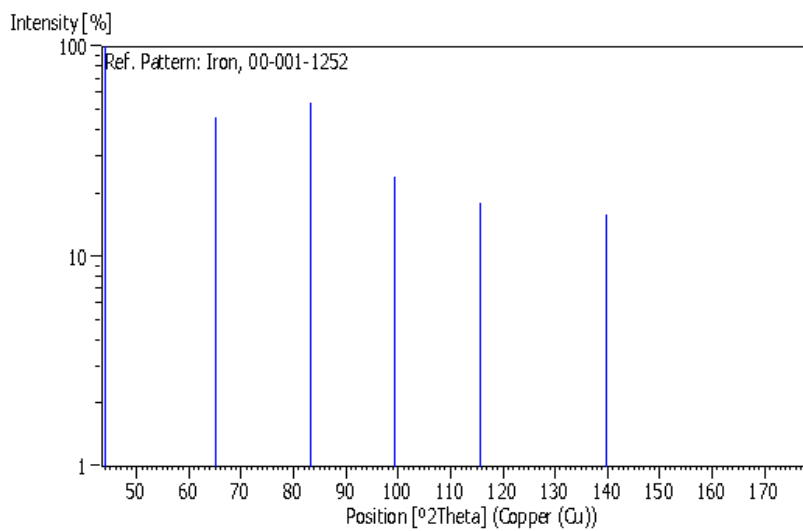
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	7.87
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	23.39
Z:	2.00

RIR:	-
------	---

## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.05000	44.142	100.0
2	2	0	0	1.43000	65.186	46.0
3	2	1	1	1.16000	83.219	54.0
4	2	2	0	1.01000	99.401	24.0
5	3	1	0	0.91000	115.662	18.0
6	2	2	2	0.82000	139.899	16.0
7	3	2	1	0.76000		22.0
8	4	1	1	0.67000		12.0
9				0.63000		3.0
10				0.60000		2.0
11				0.57000		2.0
12	5	1	0	0.56000		10.0
13	5	2	1	0.52000		2.0

## **Stick Pattern**



## **Magnetite (*Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*)**

Reference code:	01-072-2303
Mineral name:	Magnetite
Compound name:	Iron Oxide
Common name:	iron diiron(III) oxide
Empirical formula:	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Chemical formula:	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>

## **Crystallographic parameters**

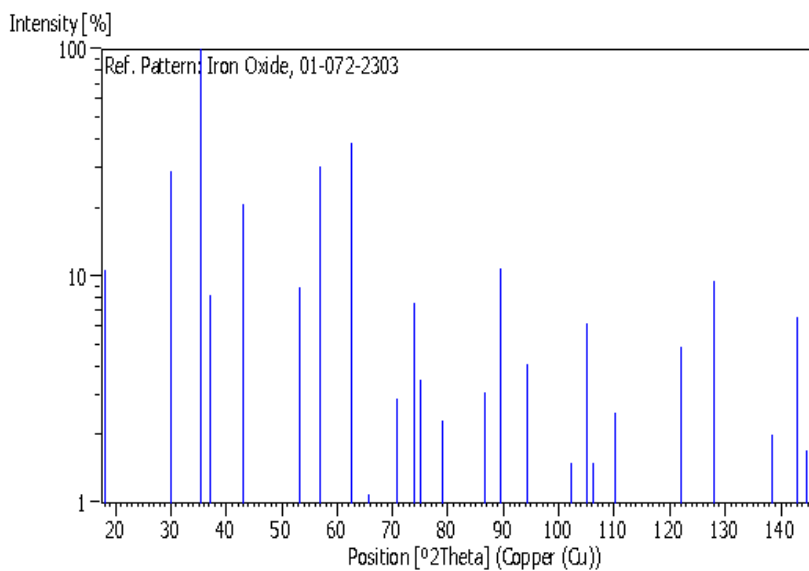
Crystal system:	Cubic
Space group:	Fd-3m
Space group number:	227
a (Å):	8.4000
b (Å):	8.4000
c (Å):	8.4000
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	592.70
Z:	8.00
RIR:	5.13

## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.84970	18.279	10.6
2	2	2	0	2.96980	30.066	29.1
3	3	1	1	2.53270	35.413	100.0
4	2	2	2	2.42490	37.043	8.2
5	4	0	0	2.10000	43.038	20.9

6	3	3	1	1.92710	47.121	0.4
7	4	2	2	1.71460	53.392	8.9
8	5	1	1	1.61660	56.913	30.5
9	4	4	0	1.48490	62.498	38.6
10	5	3	1	1.41990	65.708	1.1
11	4	4	2	1.40000	66.763	0.1
12	6	2	0	1.32820	70.895	2.9
13	5	3	3	1.28100	73.930	7.6
14	6	2	2	1.26640	74.928	3.5
15	4	4	4	1.21240	78.892	2.3
16	5	5	1	1.17620	81.825	0.6
17	6	4	2	1.12250	86.666	3.1
18	7	3	1	1.09360	89.557	10.9
19	8	0	0	1.05000	94.381	4.1
20	7	3	3	1.02620	97.291	0.1
21	6	4	4	1.01860	98.267	0.1
22	8	2	2	0.98990	102.185	1.5
23	7	5	1	0.96990	105.161	6.2
24	6	6	2	0.96350	106.161	1.5
25	8	4	0	0.93910	110.220	2.5
26	9	1	1	0.92200	113.329	0.3
27	8	4	2	0.91650	114.382	0.1
28	6	6	4	0.89540	118.697	0.7
29	9	3	1	0.88060	122.030	4.9
30	8	4	4	0.85730	127.928	9.5
31	9	3	3	0.84420	131.696	0.2
32	8	6	2	0.82370	138.511	2.0
33	9	5	1	0.81210	143.074	6.6
34	10	2	2	0.80830	144.723	1.7

## Stick Pattern



## **Iron Titanium Oxide (*Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub>Ti*)**

Reference code: 00-003-0374

Compound name: Iron Titanium Oxide

Empirical formula:  $\text{Fe}_2\text{O}_5\text{Ti}$

Chemical formula:  $\text{Fe}_2\text{TiO}_5$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Unknown

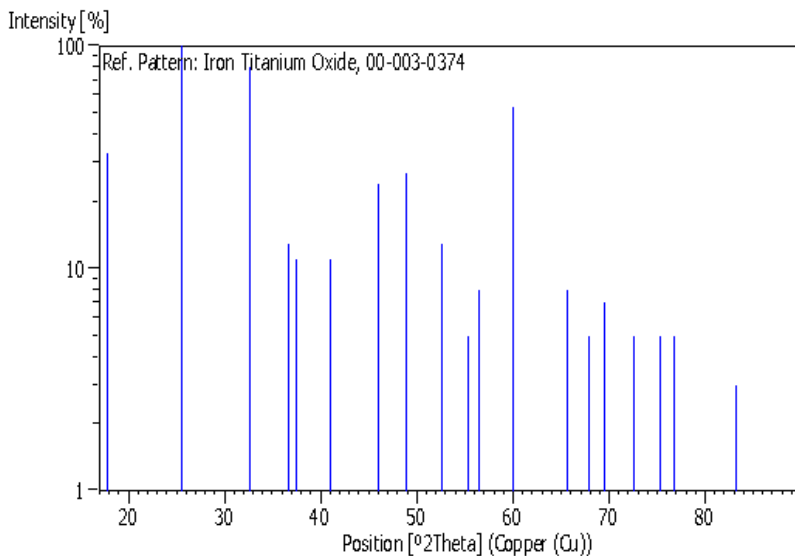
RIR: -

## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1				4.96000	17.869	33.0
2				3.48000	25.577	100.0
3				2.74000	32.655	80.0
4				2.45000	36.650	13.0
5				2.40000	37.442	11.0
6				2.20000	40.991	11.0
7				1.97000	46.035	24.0
8				1.86000	48.930	27.0
9				1.74000	52.553	13.0
10				1.69000	54.233	1.0
11				1.66000	55.296	5.0
12				1.63000	56.403	8.0
13				1.54000	60.026	53.0
14				1.49000	62.260	1.0
15				1.46000	63.687	1.0
16				1.42000	65.703	8.0
17				1.38000	67.861	5.0
18				1.35000	69.583	7.0
19				1.30000	72.675	5.0
20				1.26000	75.374	5.0
21				1.24000	76.809	5.0
22				1.16000	83.219	3.0
23				1.10000	88.898	1.0

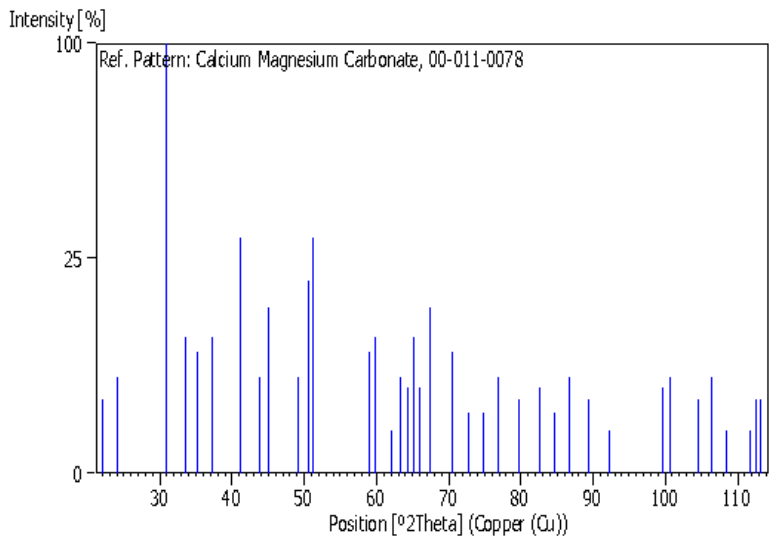


## Stick Pattern



## Dolomite ( $CaMg(CO_3)_2$ )

Reference code:	00-011-0078
Mineral name:	Dolomite
Compound name:	Calcium Magnesium
Carbonate	
Empirical formula:	$C_2CaMgO_6$
Chemical formula:	$CaMg (CO_3)_2$



## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	4.03000	22.039	3.0
2	0	1	2	3.69000	24.099	5.0
3	1	0	4	2.88600	30.961	100.0
4	0	0	6	2.67000	33.537	10.0
5	0	1	5	2.54000	35.308	8.0
6	1	1	0	2.40500	37.361	10.0
7	1	1	3	2.19200	41.148	30.0
8	0	2	1	2.06600	43.782	5.0
9	2	0	2	2.01500	44.950	15.0
10	0	2	4	1.84800	49.269	5.0
11	0	1	8	1.80400	50.554	20.0
12	1	1	6	1.78600	51.100	30.0
13	0	0	9	1.78100	51.254	30.0
14	2	1	1	1.56700	58.888	8.0
15	1	2	2	1.54500	59.812	10.0
16	1	0	10	1.49600	61.982	1.0
17	2	1	4	1.46500	63.445	5.0
18	2	0	8	1.44500	64.428	4.0
19	1	1	9	1.43100	65.135	10.0

20	1	2	5	1.41300	66.070	4.0
21	3	0	0	1.38900	67.362	15.0
22	0	0	12	1.33500	70.480	8.0
23	2	1	7	1.29700	72.870	2.0
24	0	2	10	1.26900	74.748	2.0
25	1	2	8	1.23800	76.956	5.0
26	2	2	0	1.20200	79.710	3.0
27	1	1	12	1.16800	82.524	4.0
28	3	1	2	1.14400	84.651	2.0
29	2	1	10	1.12300	86.618	5.0
30	2	2	6	1.09600	89.309	3.0
31	0	0	15	1.06800	92.316	1.0
32	4	0	4	1.00800	99.669	4.0
33	3	1	8	1.00100	100.623	5.0
34	1	0	16	0.97300	104.685	3.0
35	3	0	12	0.96200	106.399	5.0
36	2	3	2	0.94900	108.524	1.0
37	3	2	4	0.93000	111.845	1.0
38	1	2	14	0.92600	112.580	3.0
39	0	4	8	0.92300	113.140	3.0

## **Silicon Oxide (*SiO<sub>2</sub>*)**

Reference code: 00-005-0490

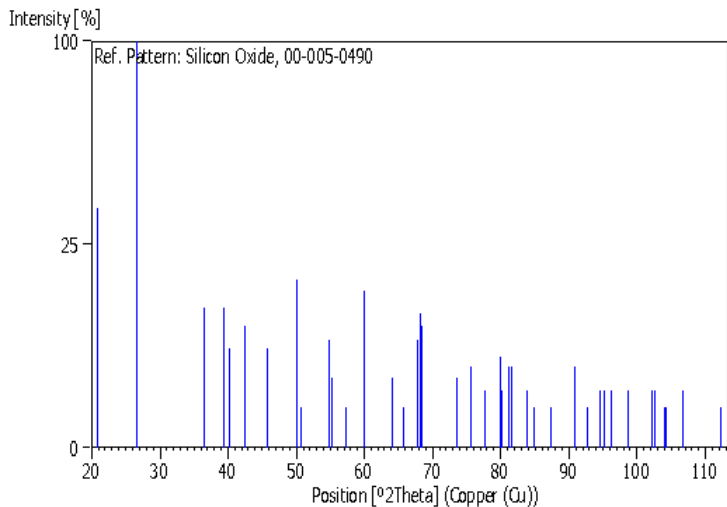
Mineral name: Quartz, low

Compound name: Silicon Oxide

Common name: α-Si  
O<sub>2</sub>

Empirical formula: O<sub>2</sub>Si

Chemical formula: SiO<sub>2</sub>



## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	4.26000	20.835	35.0
2	1	0	1	3.34300	26.644	100.0
3	1	1	0	2.45800	36.527	12.0
4	1	0	2	2.28200	39.456	12.0
5	1	1	1	2.23700	40.284	6.0
6	2	0	0	2.12800	42.444	9.0
7	2	0	1	1.98000	45.790	6.0
8	1	1	2	1.81700	50.167	17.0
9	0	0	3	1.80100	50.644	1.0
10	2	0	2	1.67200	54.865	7.0
11	1	0	3	1.65900	55.332	3.0
12	2	1	0	1.60800	57.246	1.0
13	2	1	1	1.54100	59.983	15.0
14	1	1	3	1.45300	64.030	3.0
15	3	0	0	1.41800	65.808	1.0
16	2	1	2	1.38200	67.750	7.0
17	2	0	3	1.37500	68.142	11.0
18	3	0	1	1.37200	68.311	9.0
19	1	0	4	1.28800	73.462	3.0
20	3	0	2	1.25600	75.656	4.0

21	2	2	0	1.22800	77.699	2.0
22	2	1	3	1.19970	79.894	5.0
23	2	2	1	1.19730	80.086	2.0
24	1	1	4	1.18380	81.189	4.0
25	3	1	0	1.18020	81.489	4.0
26	3	1	1	1.15300	83.839	2.0
27	2	0	4	1.14080	84.944	1.0
28	3	0	3	1.11440	87.454	1.0
29	3	1	2	1.08160	90.826	4.0
30	4	0	0	1.06360	92.811	1.0
31	1	0	5	1.04770	94.653	2.0
32	4	0	1	1.04370	95.131	2.0
33	2	1	4	1.03460	96.239	2.0
34	2	2	3	1.01490	98.751	2.0
35	1	1	5	0.98960	102.228	2.0
36	3	1	3	0.98720	102.574	2.0
37	3	0	4	0.97810	103.914	1.0
38	3	2	0	0.97620	104.199	1.0
39	3	2	1	0.96070	106.607	2.0
40	4	1	0	0.92800	112.211	1.0

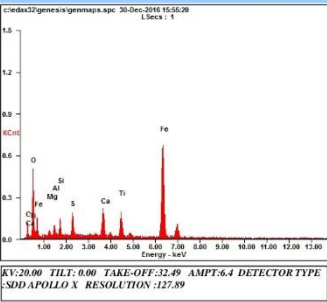
LAMPIRAN 4 HASIL UJI EDX  
HASIL EDX BRIKET B

Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

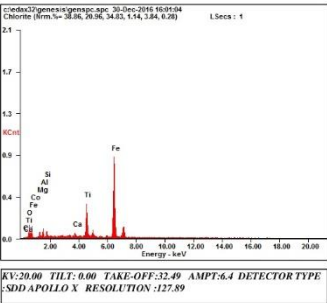
Prepared by: Your Name Here

12/30/2016



Element	Wt%	At%
CK	05.22	13.40
OK	20.12	38.80
MgK	01.29	01.64
AlK	01.82	02.08
SiK	02.63	02.89
SK	03.26	03.14
CaK	05.44	04.19
TiK	06.45	04.16
FeK	53.77	29.71

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	01.01	03.57
O K	06.51	17.25
CoL	02.54	01.83
MgK	03.22	05.61
AlK	03.09	04.87
SiK	01.89	02.86
CaK	01.09	01.15
TiK	12.52	11.09
FeK	68.14	51.77

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

HASIL EDX BRIKET C

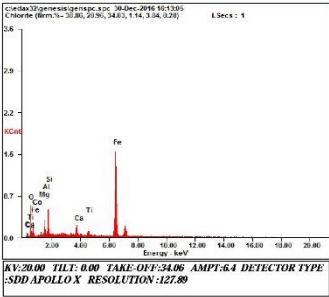
Microanalysis Report



Prepared for: Company Name Here

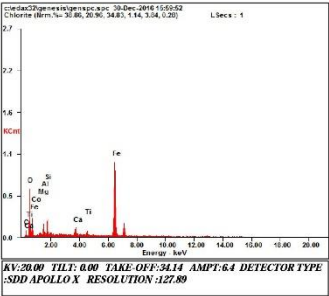
Prepared by: Your Name Here

12/30/2016



Element	Wt %	At %
C K	02.43	07.51
O K	09.91	22.98
Co L	02.76	01.74
Mg K	02.04	03.11
Al K	04.94	06.79
Si K	07.97	10.52
Ca K	02.73	02.53
Ti K	01.80	01.40
Fe K	65.41	43.43

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	03.45	09.92
O K	15.16	32.68
Co L	04.50	02.63
Mg K	01.55	02.19
Al K	03.66	04.67
Si K	04.74	05.82
Ca K	02.17	01.87
Ti K	01.89	01.36
Fe K	62.88	38.84

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT

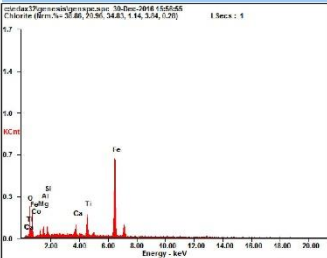
HASIL EDX BRIKET D

Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

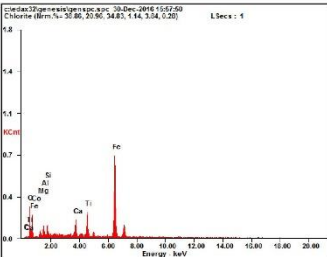
Prepared by: Your Name Here

12/30/2016



Element	Wt %	At %
C K	01.33	04.20
O K	11.86	28.21
Co L	04.27	02.76
Mg K	03.30	05.16
Al K	02.89	04.07
Si K	02.64	03.58
Ca K	03.26	03.09
Ti K	08.24	06.54
Fe K	62.21	42.38

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	00.88	02.81
O K	12.17	29.00
Co L	02.77	01.79
Mg K	02.71	04.25
Al K	03.10	04.39
Si K	03.20	04.34
Ca K	04.23	04.02
Ti K	08.53	06.79
Fe K	62.42	42.62

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC  
TABLE : DEFAULT



## LAMPIRAN 5 HASIL UJI XRF BATU KAPUR

Date: October 2014

PT. ASIA RESOURCES SEJAHTERA

Issuing Office  
Suite 610, 6/F, Plaza BRI  
Jl. Pankaj Raharjat No. 122 Senayan 16021

### REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : MATERIAL & METALLURGICAL ITS

THE FOLLOWING SAMPLE (S) WAS/WERE SUBMITTED AND IDENTIFIED BY CLIENT AS:

TYPE OF SAMPLE : BATU KAPUR

DATE OF RECEIVED : Oktober 16, 2014

DATE OF ANALYSIS : October 17, 2014

DESCRIPTION SAMPLE : FORM : powder  
Weight / Volume : 0.1 kg  
Packing : unsealed plastic bag


SAMPLE IDENTIFICATION : Codes : Inertecor #1

(STATED BY CLIENT)

We have tested the sample (s) submitted and the following results were obtained:

No.	Parameter	Unit	Test Result	Test Method
1.	Potassium (K)	% wt	16.982	X - Ray Fluorescence
2.	Magnesium (Mg)	% wt	13.742	X - Ray Fluorescence
3.	Silicon (Si)	% wt	0.546	X - Ray Fluorescence
4.	Iron (Fe)	% wt	0.072	X - Ray Fluorescence
5.	Sulfur (S)	% wt	0.041	X - Ray Fluorescence
6.	Aluminium (Al)	% wt	0.004	X - Ray Fluorescence
7.	Zirconium (Zr)	% wt	0.0007	X - Ray Fluorescence

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at [www.asiaresources.com](http://www.asiaresources.com)

Mineral Analyst  
  
Mineral Analyst

# LAMPIRAN 6 HASIL UJI PROXIMATE ANALYSIS BATUBARA

## LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : M. Rifqi Mahendra  
 Alamat Pemilik : T.Material & Metalurgi ITS  
 Nama Contoh : **Batubara** Tanggal Terima : 15 Ags 2016  
 Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 22 Ags 2016  
 Contoh Volume : - Tanggal Selesai : 13 Sep 2016  
 Kemasan : Plastik Pengujian :  
 Kode Contoh : **EI-0513** Jumlah Contoh : 1

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi – LPPM ITS.

### Hasil Pengujian

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Batubara	Total Moisture	4,17	%Ar	ASTM D 3302-15
		Moisture in Sample	3,30		ASTM D 3173-11
		Ash Content	10,30	%Adb	ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	42,08		ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	44,32		ASTM D 3172-13
		Kalori	6706	Cal/gr	Bomb kalorimeter
		HGI	28	-	ASTM D 409-11

Suhu : 20,3 °C  
 Humidity : 48 %  
 Analis : MBB

### Catatan:

1. Laporan Hasil Pengujian tidak boleh digandakan tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Energi.
2. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
3. Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Mengetahui,  
 Manajer Teknis



Vita Yuliana, S.Si  
 NIP. 914014001

# LAMPIRAN 7 HASIL UJI PROXIMATE ANALYSIS ARANG

## LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Hairul Wasik  
 Alamat Pemilik : T.Material ITS  
 Nama Contoh : **Arang Kayu** Tanggal Terima : 28 Okt 2016  
 Deskripsi : Bentuk : Padat Cair/Gas Tanggal Pengujian : 01 Nop 2016  
 Contoh Volume : - Tanggal Selesai :  
 Kemasan : Plastik Pengujian : 03 Nop 2016  
 Kode Contoh : **EN-0043** Jumlah Contoh : 3

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi – LPPM ITS.

### Hasil Pengujian

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Arang Kayu Asem	Moisture in sample	6,04	%adb	ASTM D 3173-11
		Ash Content	3,30		ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	20,20		ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	70,46		ASTM D 3172-13
		Total Moisture	7,63	%ar	ASTM D 3302-15
2	Arang Kayu Alaban	Moisture in sample	6,58	%adb	ASTM D 3173-11
		Ash Content	2,42		ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	25,14		ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	65,86		ASTM D 3172-13
		Total Moisture	7,37	%ar	ASTM D 3302-15
3	Arang Batok Kelapa	Moisture in sample	4,10	%adb	ASTM D 3173-11
		Ash Content	14,18		ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	18,76		ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	62,96		ASTM D 3172-13
		Total Moisture	4,93	%ar	ASTM D 3302-15

Suhu : 21,1 °C

Humidity : 49 %

Analisis : MBB

Catatan:

1. Laporan Hasil Pengujian tidak boleh digandakan sebagian, tetapi harus digandakan secara keseluruhan
2. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
3. Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Mengetahui,  
 Manajer Teknis



Deny Puspasari, ST

NIP. 914010012

FR/LE-ITS/5.10-01 Laporan Hasil Pengujian

Halaman 2 dari 2

## LAMPIRAN 7 (HASIL UJI DERAJAT METALISASI)

Variabel	Kadar Fe (%)	Berat sampel (gr)	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (ml)	Fe (M)	Fe (T)	%Metalisasi
Briket A	79,065	1	400	0,7511	0,7906	95, 05
Briket B	60,955	1	175	0,3255	0,6095	53,40
Briket C	64,145	1	305	0,56791	0,6414	88,54
Briket D	62,135	1	266,5	0,496223	0,6213	79,86

## LAMPIRAN 8 (DOKUMENTASI PENELITIAN)



Muffle Furnace Ketika Proses Reduksi



Control Temperature melalui Thermocouple



Gambar Hasil Reduksi Briket B



Gambar Hasil Reduksi Briket C



Gambar Hasil Reduksi Briket D